

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENATA MAGDA CAVALCANTE WERLICH

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE
ANTENAS DE RECEPTORES GPS NO POSICIONAMENTO DE ALTA
PRECISÃO**

CURITIBA

2012

RENATA MAGDA CAVALCANTE WERLICH

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE
ANTENAS DE RECEPTORES GPS NO POSICIONAMENTO DE ALTA
PRECISÃO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

**Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cláudia Pereira
Krueger**

CURITIBA

2012

Werlich, Renata Magda Cavalcante

Análise da influência dos parâmetros de calibração de antenas de receptores GPS no posicionamento de alta precisão / Renata Magda Cavalcante Werlich. – Curitiba, 2012.

125 f.: il., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

Orientador: Cláudia Pereira Krueger

1. Sistema de Posicionamento Global. 2. Antenas (Eletrônica) - Calibração. I. Krueger, Cláudia Pereira. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD: 526.982

TERMO DE APROVAÇÃO

RENATA MAGDA CAVALCANTE WERLICH


*"ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DE ANTENAS
DE RECEPTORES GPS NO POSICIONAMENTO DE ALTA PRECISÃO"*

Dissertação nº 259 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:


Orientadora:



Prof.ª Dr.ª. Claudia Pereira Krueger
Departamento de Geomática, UFPR



Prof. Dr. Paulo de Oliveira Camargo
Universidade Estadual Paulista, UNESP



Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 24 de agosto de 2012.

*Ao meu pai Sérgio Luiz Werlich...
Sem o qual estamos aprendendo a viver.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e por todas as oportunidades concedidas.

Aos meus pais, Sergio (em memória) e Luciana pela educação, dedicação, apoio, incentivo, amor e carinho incondicional ontem, hoje e sempre.

À minha irmã Rafaela, a “Zinha”, por me torrar a paciência.

À Prof^a. Dr^a. Cláudia Pereira Krueger pela orientação, ensinamentos, paciência e permanente incentivo na realização desta dissertação.

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas pela oportunidade concedida para a realização deste trabalho.

Aos laboratórios: LAGEH (Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia), LAIG (Laboratório de Instrumentação Geodésica), LABTOPO (Laboratório de Topografia), pelo empréstimo dos equipamentos.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo auxílio financeiro.

Aos amigos, colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, pela companhia e contribuições ao longo destes 2 anos.

Em especial agradeço ao Anderson Viski, Karina de Souza Silva, Rafael Mohl e Sibeles Mazur amigos importantes em um período muito difícil da minha vida.

Aos colegas do LAGEH: Adélton Fonseca, Barbara Dumont, Carolina Paese e Nassau Nardez pela colaboração nos levantamentos de campo.

À Suelen Huinca pelas sugestões, esclarecimentos e calibrações, na BCAL/UFPR, das antenas GPS utilizadas no trabalho.

À Prof^a. Msc. Diuliana Leandro pelo auxílio na solicitação de veículos para a realização dos levantamentos de campo.

RESUMO

Para se obter alta precisão e acurácia em um posicionamento deve-se atentar para todos os fatores que influenciam no resultado. Assim, em posicionamentos GPS (*Global Positioning System*) é necessário a eliminação parcial ou total dos erros presentes nas observações, particularmente os sistêmicos. Um destes erros é o erro de centro de fase da antena GPS. Ele é diretamente dependente da antena utilizada, porque cada antena tem suas características próprias de construção e recepção do sinal GPS. Portanto, é de extrema importância o conhecimento individual do centro de fase da antena (*Phase Center Offset – Phase Center Variation*). Existem parâmetros fornecidos pelos NGS (*National Geodetic Survey*), no entanto, esses valores são médios e não valores próprios das antenas usadas nos posicionamentos GPS. Os parâmetros individuais das antenas, neste trabalho, foram fornecidos pela BCAL/UFPR (Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR). Foram realizados posicionamentos GPS em nove pontos, escolhidos de forma que cada três pontos tivessem comprimentos de linha de base similares (9 km, 45 km e 105 km). Para cada comprimento de linha de base os rastreios GPS seguiram simultâneos. Foi aplicado o Método de Posicionamento Relativo Estático, com um intervalo de gravação de dados igual à 15 segundos, máscara de elevação de 15° e duração dos rastreios de 6h. Na comparação das altitudes elipsoidais e dos comprimentos das linhas de base, foram encontradas diferenças significativas, entre o não emprego de parâmetros e a inserção dos parâmetros próprios da BCAL/UFPR no processamento dos dados, da ordem do centímetro. Quando analisada a altitude elipsoidal, foi observado que 83,33% dos processamentos, com linhas de base médias e longas, a precisão imposta só foi alcançada com a aplicação dos PCO-PCV próprios das antenas. Salienta-se que, os resultados obtidos com os valores da BCAL/UFPR, são provenientes da utilização de parâmetros próprios, desta forma, fiéis às antenas utilizadas, enquanto que os fornecidos pelo NGS são valores médios.

Palavras-chave: GPS, Alta precisão e acurácia, Antena, Posicionamento preciso

ABSTRACT

To obtain high precision and accuracy in a position to pay attention to all factors that influences in this result. Thus, in positions GPS (Global Positioning System) is necessary in partial or total elimination of the errors present in the observations, particularly systemic. One of these errors is the error of phase center of GPS antenna. This is directly dependent on the antenna used, because each antenna has its own characteristics of construction and GPS signal reception. Therefore, it is extremely important to know individual phase center antenna (Offset Center Phase - Phase Center Variation). There are parameters provided by the NGS (National Geodetic Survey), however, these values are average values and do not own the antennas used in GPS positioning. Individual parameters of the antennas in this work were provided by BCAL/UFPR (Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR). Were made nine points positions GPS, chosen so that three points have lengths similar baseline (9 km, 45 km and 105 km). For each length of the baseline screening GPS followed simultaneously. We used the Static Relative Positioning Method, with a data recording interval equal to 15 seconds, elevation mask of 15° and duration tracking of 6 hours. Comparing the ellipsoidal heights and lengths of the baselines, significant differences were found between the parameters of non-employment and the inclusion of the very parameters of BCAL/UFPR in data processing, in order of centimeters. When we analyzed the ellipsoidal height, it was observed that 83,33% of the processing, with baselines medium and long, precision imposed was only achieved with the application of PCO-PCV own antennas. It should be noted that the results obtained with the values of BCAL/UFPR are from the use of specific parameters, thus faithful to antennas used as the ones provided by NGS are average values.

Keywords: GPS, High precision and accuracy, Antenna, Precise Positioning

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –	PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	19
FIGURA 2 –	DUPLA DIFERENÇA DE FASE	22
FIGURA 3 –	PRINCIPAIS ERROS ENVOLVIDOS NO POSICIONAMENTO GPS.....	23
FIGURA 4 –	CAMADAS DA ATMOSFERA: TROPOSFERA E IONOSFERA	26
FIGURA 5 –	NÚMERO DE MANCHAS SOLARES – CICLO SOLAR	30
FIGURA 6 –	EFEITO DE MULTICAMINHO	31
FIGURA 7 –	OFFSETS DOS CENTROS DE FASE EM L_1 E L_2	35
FIGURA 8 –	CENTRO DE FASE (PCO) E VARIAÇÕES DE CENTRO DE FASE (PCV)	35
FIGURA 9 –	VARIAÇÕES DO CENTRO DE FASE.....	36
FIGURA 10 –	INTERPRETAÇÃO DO PCV EM FUNÇÃO DO PCO	36
FIGURA 11 –	CÂMARA ANECÓICA.....	38
FIGURA 12 –	CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO, MANUAL	38
FIGURA 13 –	CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO, AUTOMATIZADA.....	39
FIGURA 14 –	CALIBRAÇÃO RELATIVA EM CAMPO	40
FIGURA 15 –	BASE DE CALIBRAÇÃO DO NGS, NO DETALHE O ROBÔ UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO	41
FIGURA 16 –	BCAL/UFPR, NO DETALHE O MECANISMO UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO.....	42
FIGURA 17 –	ÁREA DE ESTUDO.....	43
FIGURA 18 –	RECEPTOR LEICA GPS 1200	45
FIGURA 19 –	ANTENA LEIAR25.....	45
FIGURA 20 –	MATERIAL C-RAM.....	45
FIGURA 21 –	ANTENA LEIAX1202 GG	46
FIGURA 22 –	ANTENA LEIATX 1230.....	46
FIGURA 23 –	ANTENA LEIAX 1203+GNSS.....	46
FIGURA 24 –	MATERIAL AEM-LAGEH.....	46
FIGURA 25 –	LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DOS PONTOS DISTANTES DA BCAL/UFPR EM ATÉ 9	51
FIGURA 26 –	LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DOS PONTOS DISTANTES DA BCAL/UFPR EM ATÉ 45 km	51
FIGURA 27 –	LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DOS PONTOS DISTANTES DA BCAL/UFPR EM ATÉ 105 km	52
FIGURA 28 –	CHAPA DE METAL PARA DETERMINAÇÃO DOS PONTOS.....	52
FIGURA 29 –	PONTO 1	54
FIGURA 30 –	PONTO 2	54
FIGURA 31 –	PONTO 3	54
FIGURA 32 –	PONTO 4	54
FIGURA 33 –	PONTO 5	54
FIGURA 34 –	PONTO 6	54
FIGURA 35 –	PONTO 7	54
FIGURA 36 –	PONTO 8	54
FIGURA 37 –	PONTO 9	54
FIGURA 38 –	ESQUEMA COM ETAPAS, DADOS E CONDIÇÕES DOS PROCESSAMENTOS	59
FIGURA 39 –	ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CURITIBA UFPR.....	61
FIGURA 40 –	RECEPTOR E ANTENA DA ESTAÇÃO CURITIBA UFPR	61
FIGURA 41 –	ESQUEMA PARA A OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA A ANÁLISE DO EFEITO DE MULTICAMINHO	63
FIGURA 42 –	CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 47	67
FIGURA 43 –	CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 48	67
FIGURA 44 –	DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 1.....	68
FIGURA 45 –	DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 2.....	68
FIGURA 46 –	DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 3.....	68
FIGURA 47 –	CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 44	69
FIGURA 48 –	CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 45	69
FIGURA 49 –	DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 4.....	70

FIGURA 50 –	DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 5.....	70
FIGURA 51 –	DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 6.....	70
FIGURA 52 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN12), NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 6 SEM AEM-LAGEH2	71
FIGURA 53 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN12), NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 6 COM AEM-LAGEH2	72
FIGURA 54 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN12), NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 5 SEM AEM-LAGEH	72
FIGURA 55 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN12), NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 5 COM AEM-LAGEH	73
FIGURA 56 –	CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 68	74
FIGURA 57 –	CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 69	74
FIGURA 58 –	DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 7.....	74
FIGURA 59 –	DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 8.....	74
FIGURA 60 –	DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 9.....	74
FIGURA 61 –	DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km).....	80
FIGURA 62 –	DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km).....	84
FIGURA 63 –	DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km).....	88
FIGURA 64 –	MÉDIAS DAS DDF, NA PORTADORA L_2 , PARA OS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km) ..	89
FIGURA 65 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN8), NA ONDA PORTADORA L_2 , PARA O PONTO 1 (9 km).....	90
FIGURA 66 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN8), NA ONDA PORTADORA L_2 , PARA O PONTO 2 (9 km).....	90
FIGURA 67 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN8), NA ONDA PORTADORA L_2 , PARA O PONTO 3 (9 km).....	91
FIGURA 68 –	MÉDIAS DAS DDF, NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 4 (45 km)	92
FIGURA 69 –	RESÍDUOS DAS DDF (PRN8), NA ONDA PORTADORA L_1 , COM COMBINAÇÃO LINEAR L_1+L_2 PARA O PONTO 4 (45 km).....	93
FIGURA 70 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN8), NA ONDA PORTADORA L_1 , COM COMBINAÇÃO LINEAR L_3 PARA O PONTO 4 (45 km).....	93
FIGURA 71 –	MÉDIAS DAS DDF, NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 8 (105 km)	94
FIGURA 72 –	RESÍDUOS DA DDF, NA PORTADORA L_1 , COM 15 SATÉLITES GPS, PARA O PONTO 8 (105 km)	95
FIGURA 73 –	RESÍDUOS DA DDF, NA PORTADORA L_1 , COM 11 SATÉLITES GPS, PARA O PONTO 8 (105 km)	95
FIGURA 74 –	DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIIS DOS PONTOS DE 1 A 9	97
FIGURA 75 –	DIFERENÇAS DAS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km).....	100
FIGURA 76 –	DIFERENÇAS DAS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km).....	103
FIGURA 77 –	DIFERENÇAS DAS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km).....	106
FIGURA 78 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN26), NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 7 (105 km).....	107
FIGURA 79 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN26), NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 9 (105 km).....	107
FIGURA 80 –	MÉDIAS DAS DDF, NA PORTADORA L_1 , SEM PARÂMETROS E NGS ABSOLUTO, PARA O PONTO 4 (45 km).....	108
FIGURA 81 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN4), NA PORTADORA L_1 , COM NGS ABSOLUTO, PARA O PONTO 4 (45 km)	109
FIGURA 82 –	RESÍDUOS DA DDF (PRN4), NA PORTADORA L_1 , SEM PARÂMETROS, PARA O PONTO 4 (45 km)	109
FIGURA 83 –	DIFERENÇAS DAS LINHAS DE BASE PARA OS PONTOS DE 1 A 9.....	111

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 –	ERROS PRESENTES NAS OBSERVAÇÕES	24
QUADRO 2 –	ÓRBITAS E RELÓGIOS DOS SATÉLITES.....	25
QUADRO 3 –	ERRO MÁXIMO CAUSADO PELA REFRAÇÃO IONOSFÉRICA	29
QUADRO 4 –	COMPRIMENTO DA LINHA DE BASE E DENOMINAÇÃO DO PONTO	50
QUADRO 5 –	LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PONTOS	53
QUADRO 6 –	DIA, HORÁRIO E DURAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO	55
QUADRO 7 –	MATERIAS UTILIZADOS EM CADA PONTO	56
QUADRO 8 –	PCO ABSOLUTO DO NGS DAS ANTENAS LEIAX 1202 GG, LEIATX 1230 E LEIAX 1203+GNSS	57
QUADRO 9 –	PCO RELATIVO DO NGS DAS ANTENAS LEIAX 1202 GG, LEIATX 1230 E LEIAX 1203+GNSS	58
QUADRO 10 –	PCO RELATIVO EM NÍVEL ABSOLUTO DA BCLA/UFPR DAS ANTENAS LEIAX 1202 GG, LEIATX 1230 E LEIAX 1203+GNSS	58
QUADRO 11 –	DADOS DOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO PARA REALIZAÇÃO DA CALIBRAÇÃO	59
QUADRO 12 –	DIA, HORÁRIO E DURAÇÃO DOS RASTREIOS	60
QUADRO 13 –	COORDENADAS GEODÉSICAS PRECISAS DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CURITIBA UFPR.....	61
QUADRO 14 –	PCO DAS ANTENAS TRM55971.00 E LEIAR25	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	RESUMO DO PROCESSAMENTO DO PILAR 2000 (NORTE) DA BCAL/UFPR.....	65
TABELA 2 –	EFEITO DE MULTICAMINHO DO PILAR 2000 (NORTE) DA BCAL/UFPR NA DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS PRECISAS.....	66
TABELA 3 –	COORDENADAS PRECISAS DO PILAR 2000 (NORTE) DA BCAL/UFPR	66
TABELA 4 –	EFEITO DE MULTICAMINHO PARA OS PONTOS DE 9 km	68
TABELA 5 –	EFEITO DE MULTICAMINHO PARA OS PONTOS DE 45 km	70
TABELA 6 –	EFEITO DE MULTICAMINHO PARA OS PONTOS DE 105 km	75
TABELA 7 –	INFORMAÇÕES DOS PROCESSAMENTOS	76
TABELA 8 –	COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km).....	78
TABELA 9 –	DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km).....	78
TABELA 10 –	ALTITUDES ELIPSOIDAIAS E DIFERENÇAS DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km)	79
TABELA 11 –	COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_3)	80
TABELA 12 –	COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_1+L_2).....	81
TABELA 13 –	DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_3)	82
TABELA 14 –	DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_1+L_2).....	82
TABELA 15 –	ALTITUDES ELIPSOIDAIAS E DIFERENÇAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_3).....	83
TABELA 16 –	ALTITUDES ELIPSOIDAIAS E DIFERENÇAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_1+L_2).....	84
TABELA 17 –	COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km).....	85
TABELA 18 –	DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km).....	86
TABELA 19 –	ALTITUDES ELIPSOIDAIAS E DIFERENÇAS DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km) ..	87
TABELA 20 –	DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIAS DOS PONTOS DE 1 A 9	96
TABELA 21 –	VETOR LINHA DE BASE E DESVIOS-PADRÃO DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km).....	98
TABELA 22 –	DIFERENÇAS ENTRE AS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km)	99
TABELA 23 –	VETOR LINHA DE BASE E DESVIOS-PADRÃO DOS PONTOS 4, 5 E 6 (L_3) (45 km).....	100
TABELA 24 –	VETOR LINHA DE BASE E DESVIOS-PADRÃO DOS PONTOS 4, 5 E 6 (L_1+L_2) (45 km).....	101
TABELA 25 –	DIFERENÇAS ENTRE AS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 4, 5 E 6 (L_3) (45 km).....	102
TABELA 26 –	DIFERENÇAS ENTRE AS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 4, 5 E 6 (L_1+L_2) (45 km).....	103
TABELA 27 –	VETOR LINHA DE BASE E DESVIOS-PADRÃO DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km).....	104
TABELA 28 –	DIFERENÇAS ENTRE AS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km).....	105
TABELA 29 –	DIFERENÇAS DAS LINHAS DE BASE DOS PONTOS DE 1 A 9	110

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEM – LAGEH	–	Atenuador de Efeito Multicaminho - LAGEH
al.	–	Alemão
AMR	–	Análise de Multiresolução
ANTEX	–	ingl. <i>Antenna Exchange Format</i>
ARP	–	ingl. <i>Antenna Reference Point</i> (Ponto de Referência da Antena)
BCAL/UFPR	–	Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR
CNPq	–	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DDF	–	Dupla Diferença de Fase
DRA	–	Dispositivo Regulador de Ângulo
DRB	–	al. <i>Drehrumbum</i>
EPN	–	ingl. <i>European Reference Frame Permanent Network</i>
GDOP	–	ingl. <i>Geometric Dilution of Precision</i>
GEO++	–	al. <i>Gesellschaft für satellitengestützte und navigatorische Technologien mbH</i>
GHz	–	ingl. <i>Gigahertz</i>
GNSS	–	ingl. <i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	–	ingl. <i>Global Positioning System</i>
IBGE	–	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFE	–	al. <i>Institut für Erdmessung</i>
ingl.	–	Inglês
IGS	–	ingl. <i>International GNSS Service</i>
IONEX	–	ingl. <i>Ionosphere Map Exchange Format</i>
ITRF	–	ingl. <i>International Terrestrial Reference Frame</i>
LABTOPO	–	Laboratório de Topografia
LAGEH	–	Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia
LAIG	–	Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica
LGO	–	ingl. <i>Leica Geo Office</i>
MHz	–	ingl. <i>Megahertz</i>
NGS	–	ingl. <i>National Geographic Service</i>
NOAA	–	ingl. <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
PCO	–	ingl. <i>Phase Center Offset</i>
PCV	–	ingl. <i>Phase Center Variation</i>
PD	–	Pseudodistância
PPGCG	–	Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas
PRN	–	ingl. <i>Pseudo-Random Noise</i>
QC	–	ingl. <i>Quality Check</i>
RBMC	–	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RINEX	–	ingl. <i>Receiver Independent Exchange Format</i>
RN	–	Referência de Nível

RRNN	–	Referências de Nível
SDF	–	Simple Diferença
SAPOS	–	al. <i>Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung</i>
SIDC	–	ingl. <i>Solar Influences Data Analysis Center</i>
SIRGAS	–	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SNR	–	ingl. <i>Signal-to-Noise Ratio</i>
SWPC	–	ingl. <i>Space Weather Prediction Center</i>
TDF	–	Tripla Diferença
TEC	–	ingl. <i>Total Electron Content</i>
TEQC	–	ingl. <i>Translate Edit Quality Check</i>
UFPR	–	Universidade Federal do Paraná
UNAVCO	–	ingl. <i>University NAVSTAR Consortium</i>
VT	–	Vértice de Triangulação
WGS-84	–	ingl. <i>World Geodetic System</i>
WMO	–	ingl. <i>World Meteorological Organization</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
1.2.2 Objetivos específicos	18
1.3 CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES.....	19
2.2 OBSERVÁVEIS GPS.....	20
2.2.1 Fase da onda portadora	20
2.3 COMBINAÇÕES LINEARES EM DIFERENTES ESTAÇÕES	21
2.3.1 Dupla Diferença de Fase.....	21
2.4 ERROS ENVOLVIDOS NAS OBSERVÁVEIS	23
2.4.1 Órbita e relógio dos satélites	24
2.4.2 Refração troposférica	26
2.4.3 Refração ionosférica	29
2.4.4 Efeito de multicaminho	31
2.4.5 Relógios dos receptores.....	34
2.4.6 Centro de fase da antena dos receptores	34
2.4.6.1 Métodos de calibração de antenas	37
2.4.6.1.1 Calibração absoluta em câmaras anecóicas	37
2.4.6.1.2 Calibração absoluta em campo.....	38
2.4.6.1.3 Calibração relativa em campo.....	39
2.4.6.1.4 Calibração de antenas no NGS.....	40
2.5 BCAL/UFPR.....	41
3 METODOLOGIA.....	43
3.1 ÁREA DE ESTUDO	43
3.2 EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS.....	44
3.2.1 Leica Geo Office	46
3.2.2 TEQC.....	48
3.3 PLANEJAMENTO DOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO	48
3.4 LEVANTAMENTOS DE CAMPO	53
3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS GPS.....	56
3.6 DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DO PILAR 2000 (NORTE) DA BCAL/UFPR.....	60
3.7 ANÁLISE DO EFEITO DE MULTICAMINHO DAS OBSERVAÇÕES DOS PONTOS.....	62
3.8 A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO PARA DIFERENTES COMPRIMENTOS DE LINHA DE BASE.....	63
4 RESULTADOS E ANÁLISES	65
4.1 COORDENADAS PRECISAS DO PILAR 2000 (NORTE) DA BCAL/UFPR	65
4.2 EFEITO DE MULTICAMINHO DAS OBSERVAÇÕES DOS PONTOS.....	66
4.3 PANORAMA DOS PROCESSAMENTOS	76
4.4 COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO	77
4.5 PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO PARA DIFERENTES COMPRIMENTOS DE LINHA DE BASE	97
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
ANEXO.....	123

1 INTRODUÇÃO

O posicionamento com o GPS (*Global Positioning System*) possibilita o conhecimento da localização, com informações de tempo e posição, de qualquer objeto sobre a superfície da Terra ou próximo dela. Desta forma, torna-se possível determinar coordenadas geodésicas tridimensionais com precisão da ordem do milímetro.

Aplicações geodésicas que demandam alta precisão e acurácia requerem uma atenção especial aos erros sistemáticos atuantes. Tais aplicações podem ser em redes de monitoramento contínuo, e.g. RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), ou em monitoramento de estruturas civis. A acurácia do posicionamento com o GPS está diretamente relacionada com minimização ou eliminação de erros sistemáticos e de ruídos que afetam as medidas de pseudodistância baseadas no código e na fase da onda portadora. As fontes de erros podem se classificadas em quatro grupos principais: satélite, propagação do sinal, receptor/antena e estação.

A antena GPS é uma fonte de erros sistemáticos, em face do centro de fase da antena. Isto ocorre visto que a antena não tem coincidência entre o ponto de recepção (centro de fase eletrônico) do sinal vindo do satélite e o eixo central do sistema (centro de fase geométrico). O centro de fase eletrônico varia de acordo com as características individuais de cada antena. Os *offsets* da antena, valores que conectam as medidas GPS ao ponto de interesse, são afetados pela variação do centro eletrônico. O *offset* do centro de fase da antena é dividido em dois elementos o PCO (*Phase Center Offset*) e o PCV (*Phase Center Variations*). O PCO, *offset* do centro de fase médio, é o vetor entre o centro de fase médio e o ARP¹ (*Antenna Reference Point*). O segundo, denominado PCV, é um deslocamento adicional do centro de fase, ele é obtido em função da elevação ou da elevação e azimute de incidência do sinal advindo do satélite GPS.

De acordo com Wübbena *et al.* (1996), ao lado dos erros advindos da propagação do sinal na troposfera e do efeito de multicaminho, a variação do centro

¹ É o ponto materializado pela intersecção do centro da rosca de centragem, localizada na parte inferior da antena, com o eixo de simetria do instrumento (IGS – *International GNSS Service*).

de fase da antena é um fator limitante na determinação de coordenadas geodésicas precisas e acuradas.

As variações dos centros de fase das antenas GPS são determinadas através de métodos de calibração de antenas. Órgãos como o NGS (*National Geographic Service*) disponibilizam valores médios advindos de calibrações. Segundo Kersten e Schön (2010), cada antena tem suas características individuais, conseqüentemente, as variações são singulares e desta forma, devem ser tratadas de forma particular. Se elas forem calibradas de forma individual irão conduzir a valores próprios de PCO e PCV. A diferença entre o uso de valores médios fornecidos pelo NGS e os de calibração individual para a antena TRM22020.00+GP, na componente da altitude elipsoidal, segundo Huinca (2009), chegou à 4,9 mm.

A altitude elipsoidal é a componente que mais sofre com as variações do centro de fase, desta forma, Huinca (2009) determinou, em uma linha de base de aproximadamente 330 km e utilizando diversos parâmetros de calibração, diferenças entre 5 e 10 cm nesta componente.

Em um estudo sobre os valores de calibração individual para a antena TRM22020.00+GP, em um experimento realizado nos pilares da BCAL/UFPR (Base de Calibração de Antenas GNSS na UFPR) com 12 horas contínuas de rastreo, as coordenadas da componente norte permaneceram invariáveis. Em contrapartida, surgiu uma diferença de 1 mm na componente leste e de até 3 mm na altitude elipsoidal (FREIBERGER JUNIOR, 2007).

No Brasil, diferentemente da Europa, não se aplicam os valores próprios de calibração para minimizar o erro causado pelo centro de fase da antena, pois as redes de estações de referências ativas não utilizam ainda antenas calibradas individualmente.

Völksen (2005), em um estudo realizado na EPN (*European Reference Frame Permanent Network*), mostrou o impacto da conversão de parâmetros de calibração de relativos em absolutos. Após esta transformação foi detectada uma diferença de cerca de 30 mm na componente vertical.

A rede SAPOS² (*Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung*) utiliza em todas as suas estações antenas individualmente

² A rede SAPOS é um projeto comum da Associação das Agências Geodésicas dos Estados da República Federal da Alemanha. Conta com mais de 250 estações de referência em contínuo funcionamento (SAPOS, 2011).

calibradas pelo método absoluto (SAPOS, 2011), fator este que proporciona um posicionamento mais preciso e acurado.

No presente trabalho, almeja-se aplicar em levantamentos com o GPS antenas calibradas individualmente na BCAL/UFPR. As calibrações realizadas nessa base segue-se a metodologia da calibração relativa, no entanto são gerados parâmetros em nível absoluto. Serão utilizados diferentes comprimentos de linhas de base, com o intuito de investigar a importância no emprego dos parâmetros próprios de calibração de antenas para os posicionamentos de alta precisão. Com a finalidade de verificar esta contribuição, para cada comprimento de linha de base analisado serão realizados três experimentos. Para possibilitar mais investigações quanto à contribuição da utilização dos parâmetros, em cada comprimento de linha de base os rastreios foram simultâneos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Alcança-se alta precisão em posicionamentos GPS diante da eliminação dos erros presentes nas observações, sobretudo os sistêmicos. Para obter alta precisão em um posicionamento com GPS é de suma importância o conhecimento do centro de fase (PCO e PCV) das antenas envolvidas (HUINCA, 2009).

A distância entre o centro eletrônico e o centro geométrico pode variar da ordem de milímetros a centímetros nas antenas empregadas em levantamentos geodésicos, por esta razão não pode ser desconsiderada em aplicações de alta precisão (WANNINGER, 2000; WMO, 2006; IBGE, 2008). Segundo Mader (1999), ignorar os valores das variações do centro de fase da antena, na determinação de coordenadas geodésicas precisas de um ponto, pode conduzir a erros na coordenada vertical de até 10 cm. Nas coordenadas horizontais pode-se introduzir erros de até 3 cm (SEEBER, 2000).

Wübbena *et al.* (1996), indica que, em levantamentos de Engenharia e redes de alta precisão, com acurácia na ordem do milímetro, são as principais aplicações geodésicas em que deve-se utilizar as correções do centro de fase das antenas GPS. Especialmente, em redes que possuem estações com diferentes tipos de antenas.

A investigação quanto ao efeito do multicaminho nos pontos observados faz-se necessária. Desta forma pode-se verificar se as observações GPS coletadas nos pontos, compartilham das mesmas condições.

Nos dias atuais, no Brasil, grande parte dos usuários dos sistemas de posicionamento por satélites empregam programas comerciais. Esses programas possibilitam a introdução, em seu banco de dados, de arquivos contendo os valores de calibração das antenas. Contudo em geral são utilizados os parâmetros já contidos no seu *default*, os quais são oriundos do NGS que representam os valores médios e não os valores individuais das antenas empregadas nos levantamentos. Fato este que poderá conduzir a erros sistemáticos no posicionamento geodésico de alta precisão.

Não se detectam estudos com esta temática em nível de Brasil, o que indica que este trabalho de pesquisa irá contribuir com a comunidade brasileira no que tange aos posicionamentos geodésicos de alta precisão. Este trabalho também irá mostrar a contribuição da calibração relativa das antenas em nível absoluto que se destinam a estes posicionamentos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa consiste em investigar o quanto os resultados advindos de posicionamentos de alta precisão podem ser afetados pelo uso ou não dos parâmetros próprios de calibração de antenas GPS.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- ✓ Realizar análise do efeito de multicaminho nos pontos em estudo;
- ✓ Investigar quanto à influência dos parâmetros de calibração na determinação dos vetores formados entre as estações para diferentes comprimentos de linha de base; e
- ✓ Investigar quanto à influência dos parâmetros de calibração na determinação das coordenadas geodésicas.

1.3 CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação tem seu texto dividido em 5 seções primárias. A organização da dissertação é descrita a seguir, com o conteúdo de cada seção primária.

A seção 2 abrange a revisão bibliográfica, com os temas pertinentes a esta dissertação.

A seção 3 apresenta a metodologia empregada na dissertação. Nesta seção apresenta-se a área de estudo, os equipamentos e programas utilizados, como foi realizado o planejamento e os levantamentos de campo, assim como as estratégias de processamentos de dados GPS e para as análises.

A seção 4 contempla os resultados obtidos, assim como as análises realizadas para cada comprimento de linha de base.

A seção 5 contém as conclusões e recomendações para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES

O princípio fundamental do posicionamento por satélites (FIGURA 1) consiste na medição das pseudodistâncias³ (PD) entre um usuário (receptor/antena) e, pelo menos, quatro satélites, acima do horizonte. A partir das coordenadas conhecidas dos satélites, referenciadas a um sistema de referência global, pode-se conhecer a posição do usuário neste mesmo sistema (SEEBER, 2003).

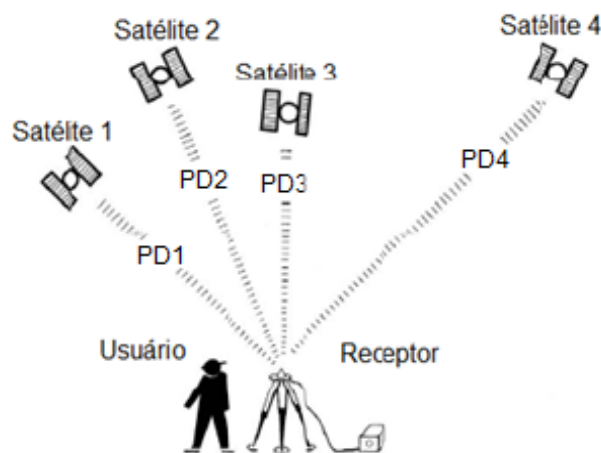


FIGURA 1 – PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO POR SATÉLITES
FONTE: ADAPTADO DE SEEBER (2003)

Geometricamente apenas três pseudodistâncias, ou seja, três satélites seriam suficientes. A quarta observação é necessária devido ao não sincronismo dos relógios dos satélites e do receptor (SEEBER, 2003).

³ É a medida de distância geométrica entre o satélite e a antena do receptor. É chamada de pseudodistância em função do não sincronismo entre os relógios (osciladores) responsáveis pela geração do código no satélite e sua réplica no receptor (MONICO, 2008).

2.2 OBSERVÁVEIS GPS

Segundo Monico (2008), as observáveis básicas GPS que permitem determinar a posição tridimensional e tempo podem ser identificadas como:

- ✓ Pseudodistância a partir do código; e
- ✓ Fase da onda portadora.

2.2.1 Fase da onda portadora

A medida da fase da onda portadora resulta da comparação do sinal GPS da onda portadora, emitido pelo satélite, recebido na antena GPS e o sinal gerado pelo receptor, ambas no instante de recepção t .

De acordo com Monico (2008), é a observável mais utilizada no âmbito geodésico, por ser mais precisa que a pseudodistância.

Seeber (2003) apresenta a equação para a observável fase da onda portadora, por (2.1):

$$PD_{\Phi} = D(t) + cdt_u(t) + cdt_{Tro}(t) - cdt_{Ion}(t) + cdt_s(t) + c\left(\frac{N}{f_{\Phi}}\right)(t) + \varepsilon_D \quad (2.1)$$

onde:

- D – distância geométrica entre a antena do satélite e a antena do receptor;
- cdt_u – erro de sincronismo entre o relógio do receptor e o tempo GPS;
- cdt_{Tro} – atraso na propagação do sinal GPS devido à troposfera;
- cdt_{Ion} – atraso na propagação do sinal GPS devido à ionosfera;
- cdt_s – erro de sincronismo entre o relógio do satélite e o tempo GPS;
- c – velocidade de propagação da luz no vácuo;
- t – instante de tempo;
- f_{Φ} – frequência da onda portadora;

- N – ambiguidade⁴; e
- ε_D – demais erros (devido ao ruído do receptor, efeito de multicaminho, centro de fase das antenas, etc).

2.3 COMBINAÇÕES LINEARES EM DIFERENTES ESTAÇÕES

No Método de Posicionamento Relativo as observações são diferenciadas entre receptores, satélites e épocas de rastreo. Os programas de processamento de dados GNSS (*Global Navigation Satellite System*) permitem que o usuário realize diversas combinações lineares. De acordo com Seeber (2003), dentre as várias combinações possíveis, existem três mais utilizadas: a simples diferença de fase (SDF), a dupla diferença de fase (DDF) e a tripla diferença de fase (TDF), destaca-se que as últimas duas são derivadas da primeira.

De acordo com Krueger (2007), uma forma de eliminar ou minimizar os erros presentes nas observações consiste em empregar as diferentes combinações lineares.

Aqui será destacada a dupla diferença de fase, visto que seus resultados serão relevantes à análise do presente trabalho, pois os efeitos sistemáticos não modelados remanescentes da DDF ficam implícitos nos resíduos (MACHADO, 2002).

2.3.1 Dupla Diferença de Fase

As duplas diferenças são formadas pela diferença entre duas simples diferenças. Conforme a FIGURA 2, esta combinação linear envolve a diferença entre dois receptores (i e j) (Δ) e a diferença entre dois satélites (p e q) (∇).

⁴ É uma incógnita que corresponde ao número inteiro de ciclos, formado entre o instante de transmissão e o instante da primeira recepção do sinal advindo do satélite.

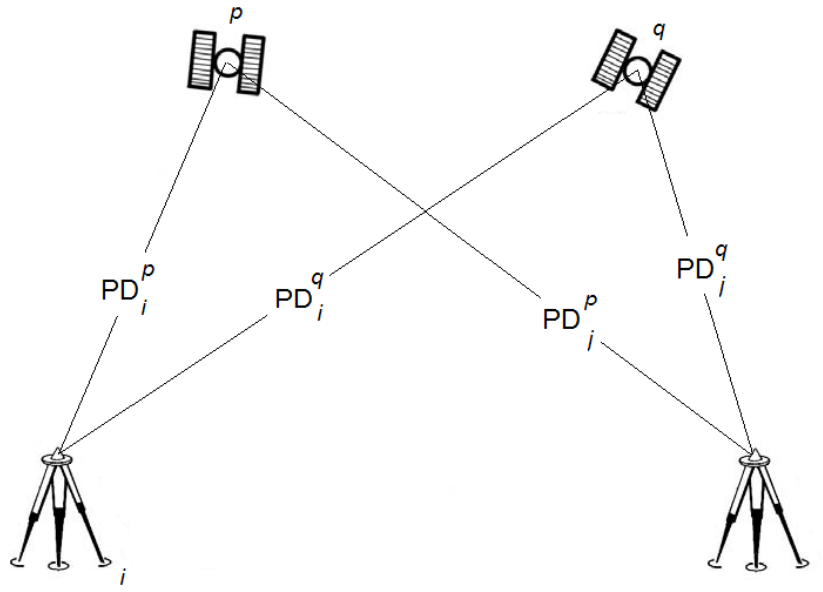


FIGURA 2 – DUPLA DIFERENÇA DE FASE
 FONTE: Adaptado de SEEBER (2003)

Seeber (2003) apresenta a equação (2.2) envolvida na Dupla Diferença para a fase da onda portadora:

$$\nabla\Delta PD_{\Phi} = \nabla\Delta D(t) - \nabla\Delta d_{ion}(t) + \nabla\Delta d_{trop}(t) + \lambda\nabla\Delta N(t) + \varepsilon_D \quad (2.2)$$

onde:

$\nabla\Delta d_{ion}$ – diferença dos erros devido à ionosfera na propagação do sinal GPS; e

$\nabla\Delta d_{trop}$ – diferença dos erros devido à troposfera na propagação do sinal GPS.

Segundo Krueger (2007), na dupla diferença somente restam como incógnitas as coordenadas tridimensionais de uma das estações e, para a fase da onda portadora, também as ambiguidades. Esta é a combinação linear mais utilizada, em virtude da alta qualidade dos resultados que podem ser obtidos (GEMAEL e ANDRADE, 2004).

De acordo com Monico (2008), a Dupla Diferença de Fase proporciona melhor relação entre o ruído resultante e a eliminação de erros sistemáticos das observações.

2.4 ERROS ENVOLVIDOS NAS OBSERVÁVEIS

As observáveis GPS estão sujeitas a três tipos de erros:

- ✓ Aleatórios;
- ✓ Grosseiros; e
- ✓ Sistemáticos.

Os erros aleatórios não podem ser modelados e são caracterizados como uma propriedade estatística da observação. Os erros grosseiros podem ser detectados através da repetição (ou repetições de observações) sobre um mesmo ponto, e geralmente, são introduzidos por falha humana ou pelo equipamento. Os erros sistemáticos podem ser modelados ou eliminados, pois suas causas são conhecidas.

A acurácia do posicionamento com o GPS está diretamente relacionada com a eliminação ou minimização de erros sistemáticos envolvidos nas observações. Segundo Freiburger Junior (2007), quando utilizado o Método de Posicionamento Relativo, a contribuição isolada de um erro pode ser analisada em termos de seu efeito na determinação das linhas de base formadas entre as estações. A FIGURA 3 apresenta os principais erros envolvidos nas observáveis.

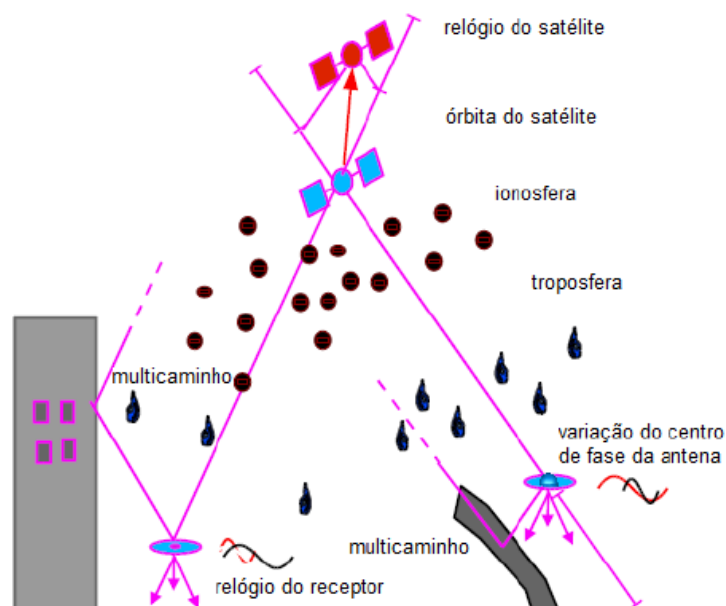


FIGURA 3 – PRINCIPAIS ERROS ENVOLVIDOS NO POSICIONAMENTO GPS
FONTE: Adaptado de SCHMITZ e WÜBBENA (2004)

As fontes de erros podem ser classificadas em quatro grupos, conforme QUADRO 1 (MONICO, 2008):

Fontes	Erros
Satélite	Erro da órbita
	Erro do relógio
	Relatividade
	Atraso nas duas portadoras no <i>hardware</i> do satélite
Propagação do sinal	Refração troposférica
	Refração ionosférica
	Perdas de ciclos
	Efeito de multicaminho
	Rotação da Terra
Receptor/Antena	Erro do relógio
	Erro entre os canais
	Centro de fase da antena
Estação	Erro nas coordenadas
	Efeito de multicaminho
	Marés terrestres
	Movimento do pólo
	Carga dos oceanos
	Pressão atmosférica

QUADRO 1 – ERROS PRESENTES NAS OBSERVAÇÕES

FONTE: Adaptado de MONICO (2008)

A seguir serão descritos alguns dos erros sistemáticos presentes nas observações, relevantes ao presente trabalho e que mais influenciam na determinação das coordenadas geodésicas.

2.4.1 Órbita e relógio dos satélites

O conhecimento da posição do satélite no instante da emissão do sinal GPS é de fundamental importância para a determinação das coordenadas geodésicas. Esta posição é obtida através dos elementos keplerianos ou orbitais e suas variações, enviados inicialmente, nas efemérides transmitidas.

O sistema GPS tem sua própria escala de tempo. Cada satélite do sistema carrega a bordo relógios altamente estáveis que, no entanto, não acompanham o sistema de tempo GPS. O comportamento desses relógios é enviado ao usuário na

forma de coeficientes de um polinômio de segundo grau, os quais são preditos pelo segmento de controle.

As leis de Kepler, aplicadas nas órbitas dos satélites, regem os cálculos das efemérides (BEUTLER⁵, 1998, *apud* RODRIGUES, 2006). Devido a erros na modelagem das forças que atuam nos satélites, as efemérides não contêm a acurácia necessária para posicionamentos de alta precisão.

As efemérides transmitidas, referenciadas ao WGS-84 (*World Geodetic System*), provêm da predição de órbitas dos satélites, enquanto que, as efemérides ultrarrápidas, rápidas e finais são calculadas a partir de observações diárias de uma rede mundial de estações GPS.

O IGS monitora continuamente as órbitas dos satélites e disponibiliza em seu sítio eletrônico produtos com melhor acurácia de órbita e relógio, no entanto existe uma latência de horas e até dias para a sua disponibilização. As efemérides produzidas pelo IGS são apresentadas no QUADRO 2.

Efemérides e relógio dos satélites GPS		Acurácia	Latência	Atualização	Intervalo
Transmitida (predita)	Órbita	~100 cm	tempo real	-----	diário
	Relógio	~5 ns			
Ultrarrápida (predita)	Órbita	~5 cm	tempo real	4 vezes ao dia	15 minutos
	Relógio	~3 ns			
Ultrarrápida (observada)	Órbita	~3 cm	3 – 9 horas	4 vezes ao dia	15 minutos
	Relógio	~150 ps			
Rápida (observada)	Órbita	~2,5 cm	17 – 41 horas	diariamente	15 minutos
	Relógio	~75 ps			5 minutos
Final (observada)	Órbita	~2,5 cm	12 – 18 dias	semanalmente	15 minutos
	Relógio	~75 ps			5 minutos

QUADRO 2 – ÓRBITAS E RELÓGIOS DOS SATÉLITES

FONTE: IGS (2011)

As efemérides finais, referenciadas ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*), permitem a determinação das coordenadas dos satélites com uma acurácia de 2,5 cm e relógios com acurácia de 75 ps, no entanto com uma latência de duas semanas. Os dados são apresentados a cada 15 minutos para a posição, e a cada 5 minutos para o relógio.

⁵ BEUTLER, G. *et al.* GPS Satellite Orbits. In: KLEUSBERG, A.; TEUNISSEN, P. J. G. GPS for Geodesy. 2.ed.: Springer Verlag, 1998. P 457-481.

2.4.2 Refração troposférica

A troposfera é a camada mais próxima à superfície da Terra (FIGURA 4), e tem altitude aproximada de 10 km. Contém aproximadamente 80% do total da massa molecular da atmosfera. É composta por gases neutros, que se dividem em duas componentes a hidrostática e úmida. A hidrostática é formada pelos gases secos, e a componente úmida, composta pelo vapor d'água. A temperatura, nesta camada, atua de forma decrescente, como pode ser visto na FIGURA 4.

A troposfera é a parte baixa da estratosfera podem ser agrupadas em uma única região, denominada de atmosfera neutra (MENDES, 1999).

O efeito devido à parte não ionizada da atmosfera, ou atmosfera neutra, é denominado refração troposférica (SEJAS, 2009).

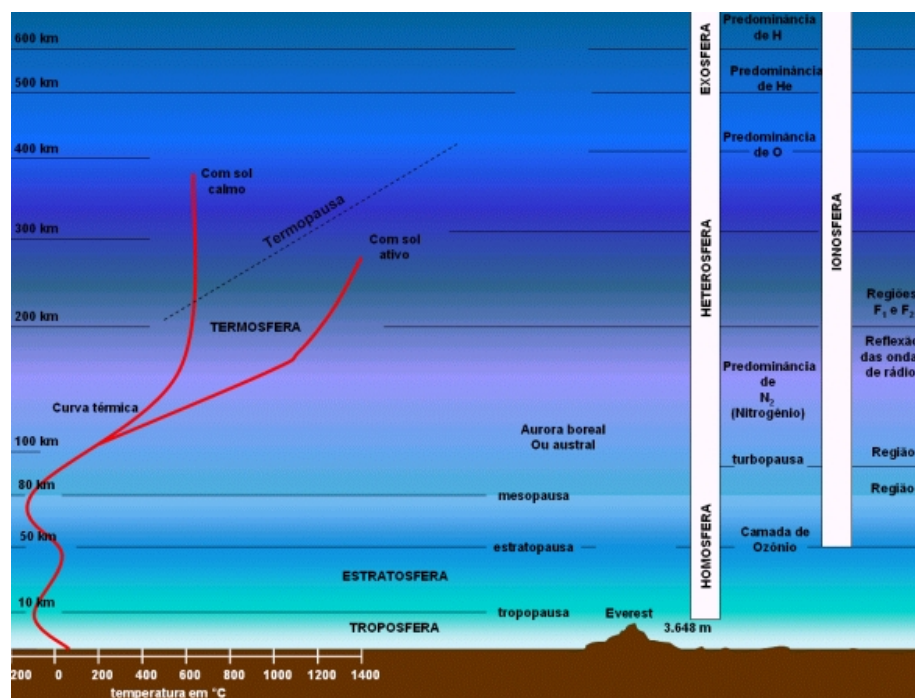


FIGURA 4 – CAMADAS DA ATMOSFERA: TROPOSFERA E IONOSFERA
FONTE: OLIVEIRA (2003)

De acordo com Monico (2008), o erro causado pela troposfera na propagação dos sinais GPS pode chegar até 30 m, isto, levando em consideração a densidade da atmosfera e o ângulo de elevação do satélite.

Segundo Leick (1995), a troposfera, para frequências abaixo de 30 GHz (*Gigahertz*), comporta-se como um meio não dispersivo, ou seja, a refração é

independente da frequência do sinal. Portanto, o uso da dupla frequência não auxilia na minimização deste efeito.

Os efeitos que a troposfera pode causar nos sinais GPS são (MONICO, 2008):

- ✓ Atenuação atmosférica: é a diminuição da potência da onda eletromagnética. Tais efeitos são drásticos abaixo de 5° de elevação do satélite.
- ✓ Cintilação troposférica: é uma oscilação na onda eletromagnética, causada na refratividade atmosférica, que depende da frequência, do tempo, das condições atmosféricas e do ângulo de elevação dos satélites. Seu efeito é pequeno para ângulos de elevação maiores que 10°.
- ✓ Atraso troposférico: divide-se em dois efeitos:
 - Atmosfera hidrostática: ela é responsável por 90% do atraso total, no zênite chega a aproximadamente 2,3 m. Sua variação com relação ao tempo é pequena, por este motivo sua predição se torna mais fácil.
 - Atmosfera úmida: o atraso nesta componente é menor, e no zênite varia de 1 à 30 cm. Possui grande variação do vapor d'água na atmosfera, por isso sua predição se torna difícil.

No posicionamento relativo, este erro é minimizado para linhas de base com comprimento de até 15 km (GOAD⁶, 1996 *apud* MACHADO, 2002). Outro recurso utilizado para a minimização dos efeitos da troposfera sobre os sinais GPS é a utilização de máscara de elevação superiores a 10°, assim como modelos matemáticos troposféricos. Dentre eles podem-se citar os mais conhecidos: *Hopfield* e *Saastamoinen*.

Neste trabalho, para as linhas de base médias e longas, foi utilizado o modelo de *Hopfield*. Este modelo foi desenvolvido para expressar a refratividade baseado, teoricamente, em uma atmosfera com uma taxa constante de declínio da temperatura em relação ao aumento da altitude da camada da troposfera. A partir do valor da superfície, cada componente tem seu perfil vertical em decréscimo até atingir a altitude em que seu valor é zero (SILVA *et al.*, 1999).

⁶ GOAD, C. C. Short Distance GPS Models. In: TEUNISSEN, P. J. G. e KLEUSBERG, A. GPS for Geodesy. 2.ed.: Springer Verlag, 1998. P 457-481.

De acordo com Seeber (2003), este modelo tem as seguintes equações:

$$D_{ZH} = 155,2 \times 10^{-7} \frac{P_0}{T_0} H_H, \quad (2.3)$$

$$D_{ZW} = 155,2 \times 10^{-7} \frac{4810e_0}{T_0^2} H_W, \quad (2.4)$$

$$H_H = 40.136 + 148,72(T_0 - 273,16) \quad (2.5)$$

$$H_W = 11.000 \quad (2.6)$$

onde:

- D_{ZH} – atraso causado pela componente hidrostática;
- D_{ZW} – atraso causado pela componente úmida;
- H_H – altura em metros da componente hidrostática;
- H_W – altura em metros da componente úmida;
- P_0 – pressão medida na superfície terrestre;
- T_0 – temperatura medida na superfície terrestre; e
- e_0 – pressão parcial do vapor d'água medido na superfície terrestre.

Os valores de pressão devem ser inseridos em *hPa* e os de temperatura em *Kelvins*. Os resultados referentes às equações (2.3) e (2.4) conduzem aos atrasos troposféricos, devido as componentes hidrostática e úmida. Em ambas as equações a constante da refratividade do ar está presente. As equações (2.5) e (2.6) correspondem às alturas, da camada troposférica, em metros das componentes hidrostática e úmida. Destaca-se que, a altura da componente hidrostática é dada em função da temperatura, enquanto que para a componente úmida o valor é constante.

2.4.3 Refração ionosférica

A ionosfera está localizada acima da camada neutra, e compreende uma região entre 50 km e 1.000 km de altitude (FIGURA 4). É formada essencialmente por íons, elétrons e pela radiação solar eletromagnética na atmosfera terrestre e, em menor escala, pela radiação cósmica, importante na manutenção da ionosfera noturna (KIRCHHOFF⁷, 1991 *apud* SALOMONI, 2008).

É um meio dispersivo em relação as frequências da banda L do GPS. Assim, o atraso ionosférico depende da frequência utilizada, sendo que a utilização de dupla frequência permite que este atraso seja estimado.

Na refração ionosférica existem 3 efeitos distintos:

- ✓ Efeito de Primeira ordem;
- ✓ Efeito de Segunda ordem; e
- ✓ Efeito de Terceira ordem.

Os erros, ocasionados pelos efeitos da ionosfera podem ser da ordem de milímetros à metros, de acordo com o QUADRO 3.

Frequência	Efeito de 1º ordem (m) (1/f ²)	Efeito de 2º ordem (m) (1/f ³)	Efeito de 3º ordem (m) (1/f ⁴)
L ₁	32,5	0,036	0,002
L ₂	53,5	0,076	0,007
L ₁ /L ₂	0,0	0,026	0,006

QUADRO 3 – ERRO MÁXIMO CAUSADO PELA REFRAÇÃO IONOSFÉRICA
FONTE: WÜBBENA⁸ (1991) *apud* SEEGER (2003)

Os efeitos da ionosfera de 1º são inversamente proporcionais ao quadrado da frequência do sinal e diretamente proporcional ao TEC (*Total Electron Content*).

Segundo Marques *et al.*, (2011), os efeitos de 2º e 3º ordem, são influenciados respectivamente pelo campo geomagnético e pela densidade máxima de elétrons presente na trajetória do sinal ao percorrer a ionosfera.

⁷ KIRCHHOFF, W. J. H. Introdução à Geodésia Espacial. 1. Ed. São Paulo: Nova Stella, 1991. 149p.

⁸ WÜBBENA, G. (1991): *Zur Modellierung von GPS Beobachtungen für die hochgenaue Positionsbestimmung*. Wiss. Arb. Univ. Hannover, Nr. 168.

O TEC é influenciado pelo ciclo solar, hora do dia, época do ano, latitude e longitude da estação de observação, atividade magnética entre outros (MATSUOKA e CAMARGO, 2007).

Há aproximadamente 300 anos vêm sendo realizadas medidas da atividade ionosférica e manchas solares. Estudos apontam para uma periodicidade de 11 anos e uma variação da potência de cada ciclo. Atualmente se esta no ciclo 24 e os valores de máxima atividade solar são esperados para Maio de 2013 (SWPC, 2011). A FIGURA 5, apresenta os ciclos solares do ano de 1900 até o presente ciclo.

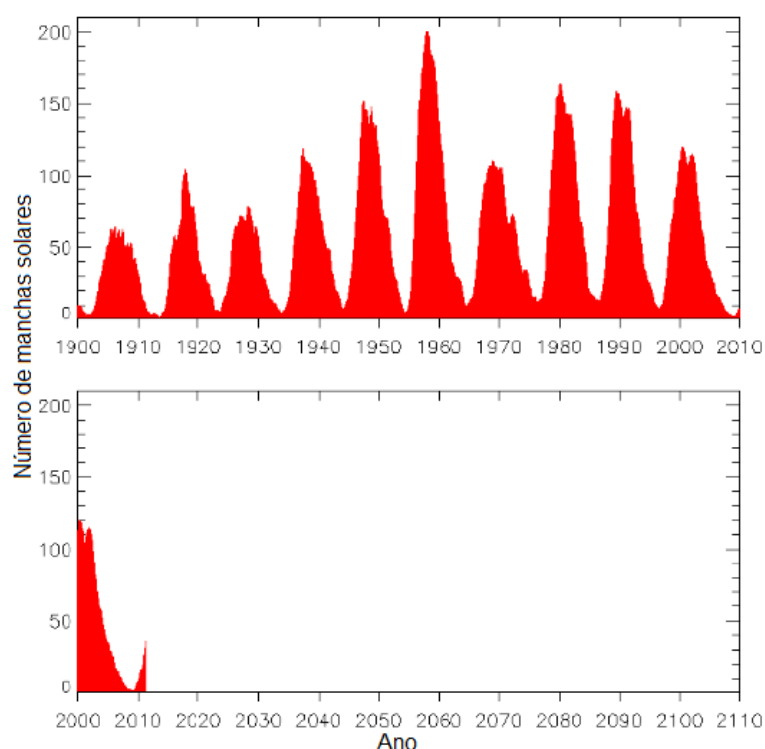


FIGURA 5 – NÚMERO DE MANCHAS SOLARES – CICLO SOLAR
 FONTE: SIDC (2011)

No Método de Posicionamento Relativo em linhas de base curtas, os efeitos da ionosfera são praticamente iguais, sendo minimizados na diferenciação das observáveis (seção 2.3.1). Em linhas de base médias e longas, faz-se uso da natureza dispersiva da ionosfera, pois uma combinação linear das portadoras L_1^9 e L_2^{10} faz com que o efeito de 1º ordem seja eliminado. Os outros efeitos da ionosfera (2º e 3º ordem) podem ser eliminados com o auxílio de programas especializados. Um programa que tem esta finalidade é o RINEX_HO (MARQUES *et al.*, 2011),

⁹ Onda com frequência igual a 1227,60 MHz (*Megahertz*).

¹⁰ Onda com frequência igual a 1575,42 MHz.

desenvolvido no Grupo de Estudo em Geodésia Espacial (GEGE), da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista.

2.4.4 Efeito de multicaminho

O Efeito de multicaminho caracteriza-se pela chegada de um ou mais sinais a antena do receptor além do sinal direto advindo do satélite devido às reflexões em superfícies refletoras próximas da antena e durante o percurso do sinal do satélite ao receptor (BARBIERI *et al.*, 2006). O multicaminho pode ter reflexão especular, difusa ou sofrer difração (FIGURA 6).

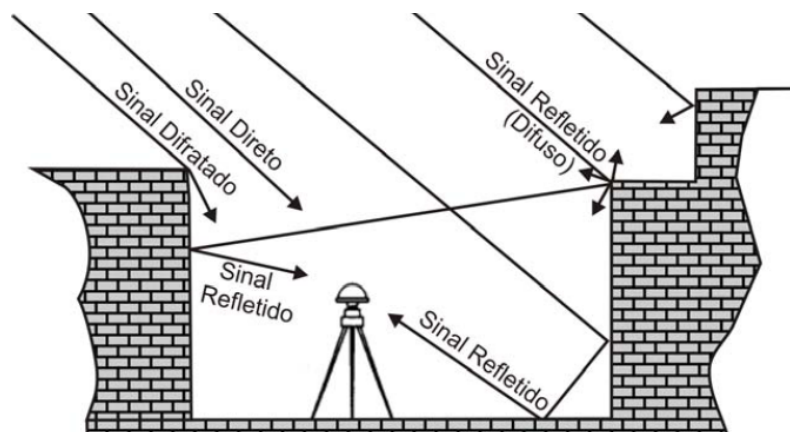


FIGURA 6 – EFEITO DE MULTICAMINHO
FONTE: SOUZA (2008)

De acordo com Leick (1995), os sinais dos satélites com baixa elevação são, geralmente, os mais afetados pelo efeito do multicaminho. Isto ocorre por estes sinais estarem mais sujeitos à reflexão em face de estarem incidindo na antena com um ângulo de inclinação muito próximo ao horizonte. O efeito de multicaminho ocasiona erro nas medidas de código, fase e razão sinal-ruído (BARBIERI *et al.*, 2006).

Nas observáveis de pseudodistâncias com código o efeito de multicaminho é maior que para a observação da fase da onda portadora, pois ele está diretamente relacionado ao comprimento da onda. De acordo com Leandro (2009), na

pseudodistância, aplicando a equação básica da ondulatória¹¹ observa-se que o multicaminho derivado do código P¹² será menor que do código C/A¹³, e tem valores máximos aproximados respectivamente de 14,66 m e 146,62 m.

A influência do multicaminho nas medidas da fase da onda portadora acarreta em uma limitação para se alcançar alta precisão nos posicionamentos geodésicos (RAY *et al.*, 1998). O atraso na fase da onda portadora devido ao multicaminho acarreta erros de no máximo $\frac{1}{4}$ de ciclo de onda (SOUZA, 2004). Segundo Leandro (2009), na onda portadora L₁ este valor é de aproximadamente 4,8 cm, e na onda portadora L₂ este valor é de aproximadamente 6,1 cm.

O efeito de multicaminho pode ser dividido em duas classes: estática e cinemática. Para um receptor estacionário, a geometria dos satélites muda lentamente, obtendo-se os mesmos parâmetros de multicaminho durante vários minutos. Em um receptor cinemático, o efeito de multicaminho muda rapidamente devido à alteração na geometria entre a antena e os objetos refletores no ambiente de rastreamento (POLEZEL *et al.*, 2006).

Diante dos erros provocados pelo efeito de multicaminho, muitas são as pesquisas em busca de técnicas e materiais que auxiliem na redução deste efeito. Como exemplo de um material atenuador de efeito multicaminho pode-se citar o Atenuador de Efeito Multicaminho (AEM-LAGEH), que faz uso da tecnologia *stealf*, a qual tem a propriedade de absorver ondas eletromagnéticas, transformando-as em calor (VISKI *et al.*, 2010).

Segundo Souza *et al.* (2005), para atenuar o efeito do multicaminho no posicionamento relativo, a Análise de Multiresolução¹⁴ (AMR) pode ser aplicada na Dupla Diferença, tanto para a fase de batimento da onda portadora, como para a pseudodistância.

Os valores de MP₁ e MP₂ fornecem uma indicação do nível de variação do efeito de multicaminho em uma dada estação, respectivamente para as portadoras L₁ e L₂. As combinações lineares para MP₁ e MP₂ são dadas por (FORTES¹⁵ *et al.*, 1997, apud SOUZA *et al.*, 2008):

¹¹ A velocidade da luz no vácuo (299.792.458 m/s) dividida pela frequência em questão resulta no comprimento da onda.

¹² Código com frequência igual a 10,23 MHz.

¹³ Código com frequência igual a 1,023 MHz.

¹⁴ Na AMR o sinal GPS é dividido em componentes de resolução cada vez mais baixa, formando uma decomposição em árvore (SOUZA *et al.* 2005).

¹⁵ FORTES, L. P. S. Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do

$$MP_1 = PD_{L1} - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_{L1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)\phi_{L2} = M_{PD1} + B_1 - \left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)M_{\phi1} + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)M_{\phi2}, \text{ e} \quad (2.7)$$

$$MP_2 = PD_{L2} - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)\phi_{L1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)\phi_{L2} = M_{PD2} + B_2 - \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)M_{\phi1} + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)M_{\phi2}, \quad (2.8)$$

Onde as tendências (*bias terms*) B_1 e B_2 , equações (2.9) e (2.10) resultam das ambiguidades da fase da onda portadora e são dados por:

$$B_1 = -\left(1 + \frac{2}{\alpha - 1}\right)n_1\lambda_1 + \left(\frac{2}{\alpha - 1}\right)n_2\lambda_2, \text{ e} \quad (2.9)$$

$$B_2 = -\left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1}\right)n_1\lambda_1 + \left(\frac{2\alpha}{\alpha - 1} - 1\right)n_2\lambda_2, \quad (2.10)$$

onde:

PD_{L1}, PD_{L2} – medidas simultâneas de pseudodistância, em cada onda portadora (L_1 e L_2) respectivamente;

$\alpha = \left(\frac{f_{L1}^2}{f_{L2}^2}\right)$ – f_{L1} a frequência na L_1 e f_{L2} a frequência na L_2 ;

n_1 e n_2 – número de ciclos inteiros nas portadoras L_1 e L_2 respectivamente;

λ_1 e λ_2 – comprimentos de onda de L_1 e L_2 respectivamente;

ϕ_{L1} e ϕ_{L2} – medidas da fase para cada portadora (L_1 e L_2);

M_{PD1} e M_{PD2} – efeito do multicaminho em PD_{L1} e PD_{L2} ; e

$M_{\phi1}$ e $M_{\phi2}$ – efeito do multicaminho em ϕ_{L1} e ϕ_{L2} .

As equações (2.7) e (2.8), apontam que no segundo membro das mesmas os valores de MP_1 e MP_2 , podem ser calculados somente com as observações de pseudodistância e da fase da onda portadora. O terceiro membro das mesmas equações indicam que os valores de MP dependem do efeito de multicaminho na pseudodistância e da fase da onda portadora (SOUZA, 2008).

Desta forma, a qualidade dos dados não deve ser somente verificada pelo valor absoluto de MP_1 e MP_2 , mas também por sua variação ao longo das observações. De acordo com Souza (2008), a mudança repentina do valor de MP_1 pode significar um efeito acentuado do efeito de multicaminho em PD_{L1} ou a ocorrência de perdas de ciclos.

2.4.5 Relógios dos receptores

Em geral os receptores GPS são munidos de relógios de quartzo, estes de estabilidade inferior aos que estão a bordo dos satélites. Assim, como nos satélites, os receptores também não acompanham o sistema de tempo GPS e por isso tem-se uma defasagem particular em cada receptor. Ele é mais crítico quando as medidas não são efetuadas em tempos idênticos nos receptores.

Com o Método de Posicionamento Relativo é possível praticamente eliminar este erro. No entanto, para que isto ocorra a diferença entre os relógios deve ser mínima. Isto ocorre, pois um erro na sincronização dos relógios de um μs gera um erro de 300 m na determinação da distância.

2.4.6 Centro de fase da antena dos receptores

Um receptor GPS determina as coordenadas geodésicas do centro de fase eletrônico da antena, assim, denomina-se como centro de fase o ponto onde o sinal de um satélite é recebido na antena (AKOUR *et al.*, 2005).

Para toda a antena, o centro de fase mudará em função do sentido da mudança de um satélite (MADER, 1999). Tais variações, causadas pela elevação dos satélites, afetam os *offsets* da antena, que representam a ligação entre o objeto de interesse e as medidas GPS realizadas.

Segundo Huinca (2009), a variação do centro de fase com relação ao ARP é denominada de *offset* do centro de fase. Os *offsets* tanto para L_1 quanto para a onda portadora L_2 , geralmente, são fornecidos pelos fabricantes das antenas (FIGURA 7).

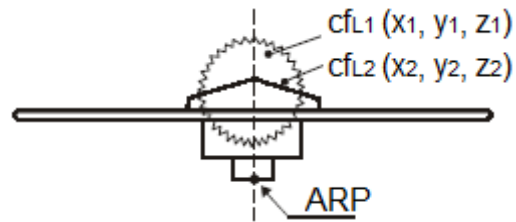


FIGURA 7 – OFFSETS DOS CENTROS DE FASE EM L_1 E L_2
 FONTE: DICK¹⁶ (2002) *apud* FREIBERGER JUNIOR (2004)

Segundo Freiburger Junior (2004), o *offset* do centro de fase das ondas portadoras é condicionado por uma parte mecânica e outra parte eletrônica. Assim, conforme a FIGURA 8, o PCO, *offset* do centro de fase, é caracterizado pelo vetor \vec{P} , com componentes Norte (N), Este (E) e da altitude elipsoidal (h). Este vetor \vec{P} (N, E, h) caracteriza a distância entre o centro de fase e o ARP. O PCV, *variação* do centro de fase é um deslocamento adicional do centro de fase da antena.

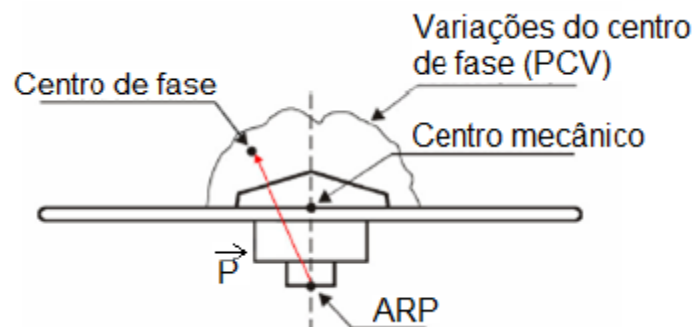


FIGURA 8 – CENTRO DE FASE (PCO) E VARIAÇÕES DE CENTRO DE FASE (PCV)
 FONTE: Adaptado de FREIBERGER JUNIOR (2004)

Para se realizar a determinação do PVC, que está relacionado com o ângulo de incidência do sinal GPS na antena, deve-se conhecer o azimuth (Az) e a elevação (e) do satélite (FIGURA 9).

¹⁶ DICK, G. (2002). Verwendung von GPS-Antennen im SAPOS - Baden-Württemberg. Landesvermessungsamt Baden-Württemberg. Disponível em <<http://sapos.bayern.de/infoHTML/antennen.htm>>. Acesso em 20 de setembro de 2002.

- ✓ Calibração Absoluta em Câmaras Anecóicas;
- ✓ Calibração Absoluta em Campo; e
- ✓ Calibração Relativa em Campo.

Percebe-se que os métodos de calibração de antenas GPS/GNSS são definidos como absoluto ou relativo, no entanto, devem-se salientar as denominações de calibração em “nível absoluto” e em “nível relativo” (HUINCA, 2009).

De acordo com Freiburger Junior (2007), as calibrações denominadas de nível absoluto determinam os parâmetros do centro de fase independentes das características do centro de fase da antena de referência. As calibrações denominadas nível relativo tem suas correções dependentes da antena de referência (FREIBERGER JUNIOR, 2007).

2.4.6.1 Métodos de calibração de antenas

2.4.6.1.1 Calibração absoluta em câmaras anecóicas

A calibração de antenas GPS em câmaras anecóicas¹⁷ (FIGURA 11) é realizada com a antena a ser calibrada fixa em um suporte e sinais irradiados por uma fonte fixa (antena transmissora). Essa incide ondas eletromagnéticas uniformemente sobre a antena a ser calibrada. A antena em teste deve ser fixada em um suporte capaz de realizar diversas inclinações e rotações em torno de um ponto referenciado ao ARP da antena em processo de calibração.

¹⁷ Câmaras anecóicas são ambientes controlados, onde é minimizada a quantidade de reflexão ou reverberação de diversos tipos de ondas (e.g., ondas eletromagnéticas).



FIGURA 11 – CÂMARA ANECÓICA
FONTE: SCHUPLER e CLARK (1991)

Esse tipo de calibração fornece, entre outras informações, as coordenadas do centro de fase (PCO) para cada frequência e os correspondentes diagramas de fase da antena (SCHUPLER e CLARK, 2000).

2.4.6.1.2 Calibração absoluta em campo

Este método de calibração absoluta em campo, inicialmente era realizado manualmente, posteriormente teve seus procedimentos automatizados. A FIGURA 12 apresenta a calibração absoluta em campo de forma manual.



FIGURA 12 – CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO, MANUAL
FONTE: FREIBERGER JUNIOR (2007)

O método consiste em realizar observações de satélites durante dois dias siderais médios¹⁸ consecutivos. Normalmente no segundo dia de rastreo são efetuados movimentos de rotação e inclinação, em torno de um ponto conhecido, na antena a ser calibrada.

De acordo com Freiburger Junior (2007), ao contrário da calibração relativa, o PCO e as PCV são determinados no mesmo processo.

O mecanismo automatizado (FIGURA 13), projetado pela Geo++(*Gesellschaft für satellitengestützte und navigatorische Technologien mbH*) e IfE (*Institut für Erdmessung*), permite que a calibração absoluta seja realizada em tempo real. As rotações e inclinações, realizadas automaticamente, podem ser programadas, fazendo com que seja simulada até mesmo a alteração da geometria dos satélites.



FIGURA 13 – CALIBRAÇÃO ABSOLUTA EM CAMPO, AUTOMATIZADA
FONTE: WÜBBENA *et al.*, (2003)

2.4.6.1.3 Calibração relativa em campo

Na calibração relativa em campo, são utilizadas duas antenas em uma linha de base curta. Com o objetivo de que as antenas tenham praticamente os mesmos erros orbitais, ionosférico e troposférico, utiliza-se uma linha de base (FIGURA 14), de aproximadamente 5 metros. Devem-se realizar observações de 24 horas, com o

¹⁸ Um dia sideral médio corresponde à 23 horas, 56 minutos e 4 segundos.

Virgínia, Estados Unidos. A localização do campo e um detalhe do robô podem ser vistos na FIGURA 15.

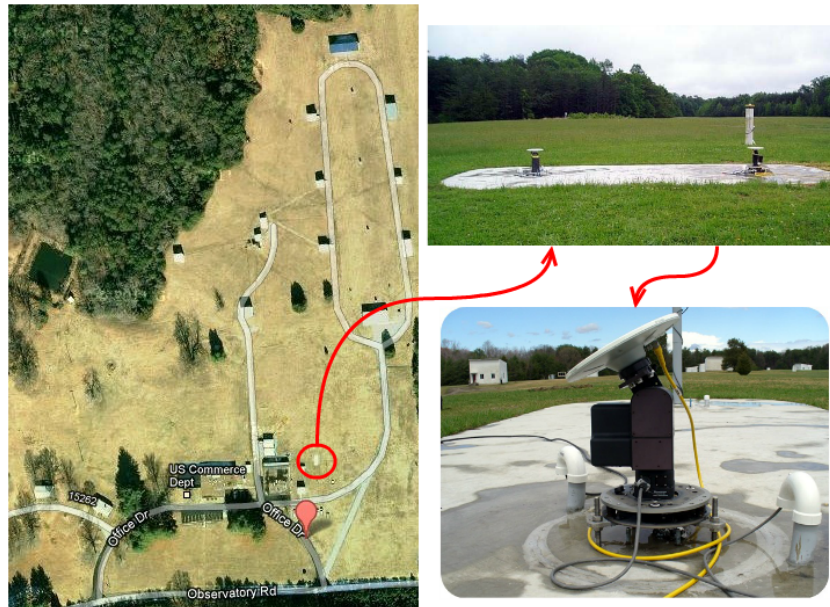


FIGURA 15 – BASE DE CALIBRAÇÃO DO NGS, NO DETALHE O ROBÔ UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO

FONTE: Adaptado de Google Earth (2012) e BILICH e MADER (2010)

São disponibilizados para a comunidade, no sítio eletrônico do NGS, os valores de PCO (componentes norte, leste e vertical) e o PCV, dependente da elevação e do azimute. Os formatos utilizados são o NGS e o ANTEX (*Antenna Exchange Format*). O primeiro, por uma limitação, dispõe somente do PCO e PCV dependente da elevação, o segundo contém o PCO e PCV dependente da elevação e do azimute.

2.5 BCAL/UFPR

A BCAL/UFPR é a primeira base de calibração de antenas GPS/GLONASS no Brasil e na América Latina. Ela está implantada na laje do auditório anexo ao antigo Observatório Astronômico Camil Gemael (FIGURA 16) e do lado do Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia (LAGEH), no Campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Ela foi fruto da cooperação internacional do Programa PROBRAL (CAPES/DAAD) (Brasil/Alemanha).



FIGURA 16 – BCAL/UFPR, NO DETALHE O MECANISMO UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO
 FONTE: Adaptado de HUINCA (2009) e Google Earth (2012)

A BCAL/UFPR possui três pilares de centragem forçada denominados de Pilar 1000 (Oeste), Pilar 2000 (Norte) e Pilar 3000 (Sul) (FIGURA 16), onde calibram-se antenas utilizando o método de calibração relativa (HUINCA, 2009), desde o ano de 2008, e se obtêm os parâmetros de calibração em nível absoluto. A antena de referência é a *Leica AR 25*, modelo *Choke Ring 3D*, e utiliza-se um mecanismo denominado DRB (*Drehrumbum*) no processo de calibração (FIGURA 16). Este mecanismo proporciona que a antena a ser calibrada seja rotacionada em diversas direções. São realizadas observações simultâneas de 24 horas com ambas as antenas. Os dados são pós-processados com o programa *Wasoft/Kalib*.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo engloba a BCAL/UFPR (2.5), localizada no Campus Jardim das Américas do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, e uma área ao seu entorno com raio de até 100 km, portanto uma área total de aproximadamente 31.416 km². Esta área de estudo, como pode ser visto na FIGURA 17, será subdividida em 3 grupos:

- ✓ 9 km de raio a partir da BCAL/UFPR;
- ✓ 45 km de raio a partir da BCAL/UFPR; e
- ✓ 105 km de raio a partir da BCAL/UFPR.

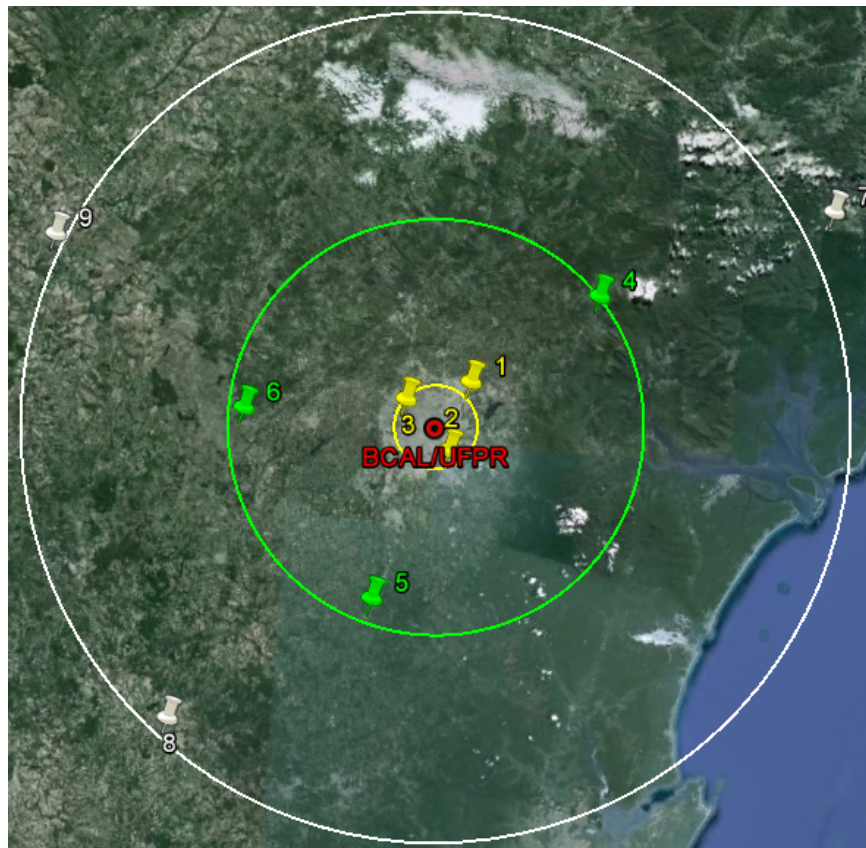


FIGURA 17 – ÁREA DE ESTUDO
FONTE: Adaptado de Google Earth (2012)

O primeiro grupo de linhas de base, de aproximadamente 9 km de distância a partir da BCAL/UFPR, círculo amarelo na FIGURA 17, está localizado na cidade de Curitiba e em dois municípios vizinhos, Pinhais e São José dos Pinhais, pertencentes à Região Metropolitana de Curitiba.

O segundo grupo de linhas de base, de aproximadamente 45 km de distância a partir da BCAL/UFPR, círculo verde da FIGURA 17, abrange além da cidade de Curitiba outros municípios vizinhos como, Campina Grande do Sul, Balsa Nova e Quitandinha, todos pertencentes à Região Metropolitana de Curitiba.

O terceiro grupo de linhas de base, de aproximadamente 105 km de distância a partir da BCAL/UFPR, círculo branco da FIGURA 17, abrange a cidade de Curitiba, Barra do Turvo do estado de São Paulo, Mafra do estado de Santa Catarina e Ponta Grossa pertencente ao estado do Paraná.

Em cada um destes grupos foram implantados e materializados pontos, e nos mesmos foram realizados os rastreios com receptores/antenas GPS.

3.2 EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS

Visando a determinação das coordenadas geodésicas da estação utilizada como estação base e o pós-processamento das observações GPS das estações, no rastreamento do Pilar 2000 pertencente à BCAL/UFPR, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- ✓ Receptor geodésico de dupla frequência Leica GPS 1200 (FIGURA 18);
- ✓ Antena Leica *Choke Ring* 3D LEIAR25 (FIGURA 19):
 - Recebe sinais do GPS, GLONASS, Galileo e Compass;
 - Conexão com o receptor via cabo; e
 - De acordo com LEICA AR25, esta antena minimiza o efeito do multicaminho, devido as depressões e distâncias entre os anéis concêntricos.
- ✓ Material atenuador do efeito de multicaminho C-RAM (FIGURA 20).

Para a aquisição de dados GPS das estações visando uma futura análise do efeito de multicaminho, foram empregados os seguintes equipamentos:

- ✓ Receptor geodésico de dupla frequência Leica GPS 1200 (FIGURA 18);
- ✓ Antena LEIAX 1202 GG (FIGURA 21):
 - Recebe sinais GPS e GLONASS; e
 - Conexão com o receptor via cabo.
- ✓ Antena LEIATX 1230 (FIGURA 22):
 - Recebe sinais GPS; e
 - Conexão com o receptor via cabo e *bluetooth*.
- ✓ Antena LEIAX 1203+GNSS (FIGURA 23):
 - Recebe sinais GPS, GLONASS, Galileo e Compass; e
 - Conexão com o receptor via cabo.
- ✓ 3 versões do material atenuador do efeito de multicaminho AEM-LAGEH (FIGURA 24).

Salienta-se que, as antenas mencionadas anteriormente, ao contrário da LEIAR25, não dispõem de uma tecnologia específica para a atenuação do efeito de multicaminho, sendo mais suscetíveis aos erros causados por este efeito. Ressalta-se que, a antena LEIATX 1230, apesar de contar com conexão via *bluetooth*, optou-se por utilizar o cabo.



FIGURA 18 – RECEPTOR LEICA GPS 1200
FONTE: LEICA GEOSYSTEMS (2011a)



FIGURA 19 – ANTENA LEIAR25
FONTE: LEICA GEOSYSTEMS (2011b)

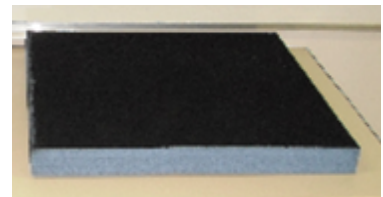


FIGURA 20 – MATERIAL C-RAM
FONTE: Adaptado de VISKI *et al.* (2010)



FIGURA 21 – ANTENA LEIAX1202 GG
FONTE: NGS (2012)



FIGURA 22 – ANTENA LEIATX 1230
FONTE: NGS (2012)

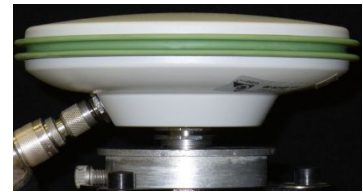


FIGURA 23 – ANTENA LEIAX 1203+GNSS
FONTE: NGS (2012)

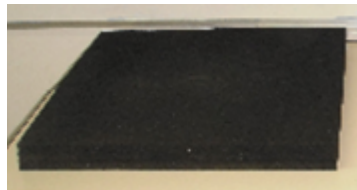


FIGURA 24 – MATERIAL AEM-LAGEH
FONTE: Adaptado de VISKI *et al.* (2010)

Visando o pós-processamento das observações e a análise do efeito de multicaminho serão utilizados os seguintes programas:

- ✓ *Leica Geo Office 7.0*; e
- ✓ *TEQC (Translate Edit Quality Check)*.

3.2.1 Leica Geo Office

O *Leica Geo Office 7.0* (LGO) é um programa comercial, para processamento de dados GPS, desenvolvido pela empresa *Leica Geosystems*, para o sistema operacional Windows.

O programa permite importar arquivos com extensão *.txt, com os parâmetros de calibração das antenas, sejam eles, próprios médios relativos ou médios absolutos. É possível inserir os valores de PCO e PCV dependente da elevação e do azimuth.

Com o objetivo de minimizar os erros atmosféricos, o programa disponibiliza alguns modelos para a realização destas correções.

Têm-se para a correção dos erros troposféricos os seguintes modelos:

- ✓ *Hopfield (Default);*
- ✓ *Simplified Hopfield;*
- ✓ *Saastamoinen; e*
- ✓ *Essen and Froome.*

Além dos modelos citados, o programa permite que não se faça o uso de nenhum modelo troposférico, possibilitando assim, maiores investigações acerca do uso destes modelos. Existe ainda a opção *Computed* onde é possível calcular as variações do atraso zenital troposférico entre a estação base e a estação itinerante. Aconselha-se esta opção em casos onde existe grande diferença de altitude entre as estações (*Leica Geo Office*, 2008).

Para a correção dos erros ionosféricos têm-se as opções a seguir:

- ✓ *Automatic (Default);*
- ✓ *Computed;*
- ✓ *Klobuchar;*
- ✓ *Standard;*
- ✓ *No model;*
- ✓ *Global model; e*
- ✓ *Regional model.*

O programa tem como *default* a opção *Automatic*. Esta alternativa, quando escolhida, faz com que o programa selecione automaticamente o modelo que melhor convêm, de acordo com as diretrizes implementadas no programa. Caso seja selecionada a opção *Global* ou *Regional model* o usuário é que deve disponibilizar os arquivos, no formato *IONEX (Ionosphere Map Exchange Format)*, com os modelos. Caso os mesmos não sejam adicionados, o programa automaticamente seleciona a opção de *No model* (*Leica Geo Office*, 2008).

Visto que foram usadas diferentes combinações lineares nos processamentos, é pertinente, salientar quais estão disponíveis no programa *Leica Geo Office*:

- ✓ *Automatic (Default);*
- ✓ L_1 ;
- ✓ L_2 ;
- ✓ L_1+L_2 ; e
- ✓ *Iono-free (L_3).*

O *default*, para a combinação linear, é a *Automatic*. De acordo com a implementação do programa, quando selecionada esta opção, a combinação linear é aplicada conforme o comprimento da linha de base (Leica Geo Office, 2008), no entanto, independente do comprimento da linha de base pode-se optar por qualquer combinação linear.

3.2.2 TEQC

O TEQC, desenvolvido pela Universidade *Navstar Consortium* (UNAVCO, 2010) em ambiente MS-DOS, analisa a qualidade dos dados GPS.

Especificamente o módulo QC (*Quality Check*) do programa, realiza o processamento dos RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) (de observação e navegação) gerados a partir dos dados brutos coletados em um levantamento com um receptor GPS. Com os resultados gerados com o TEQC é possível fazer uma série de análises:

- ✓ Razão sinal-ruído (SN_1 e SN_2);
- ✓ Atraso do sinal causado pela ionosfera;
- ✓ Deriva do relógio do receptor;
- ✓ Ângulos de azimute e elevação dos satélites; e
- ✓ Efeito de multicaminho (MP_1 e MP_2).

3.3 PLANEJAMENTO DOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO

O planejamento de campo de uma campanha é a etapa que antecede o levantamento de campo propriamente dito. Habitualmente tem-se como planejamento de campo para trabalhos relacionados à GPS, o levantamento das obstruções ao entorno da estação de interesse e a definição do melhor horário para o rastreamento. Albarici (2011), afirma que mesmo sem o planejamento de um melhor horário, dificilmente não se obterá sucesso no rastreamento, visto que em qualquer horário do dia, há uma disponibilidade mínima de oito satélites acima do horizonte.

Ressalta-se, que isto se aplica em estações escolhidas previamente sem obstruções e objetos reflexivos ao seu entorno.

No presente trabalho o pré-planejamento de campo foi realizado com base na localização de marcos geodésicos, e.g. Referências de Nível (RRNN) e Vértices de Triangulação (VT). Em face de que seria realizada uma ocupação e uma reocupação de cada ponto selecionado, necessariamente os pontos deveriam ser materializados seja com um marco de concreto ou por uma simples chapa de metal.

Nesta primeira etapa foi utilizado o *Google Earth* e um arquivo com extensão *.kml, com a localização dos marcos geodésicos, disponibilizado no sítio eletrônico do IBGE. Com o objetivo de se obter condições semelhantes nos rastreios, foram determinados alguns pré-requisitos para a escolha da RN, VT ou local para a implantação do novo ponto. São eles:

- ✓ Discrepância máxima nas linhas de base para 15% do comprimento:
 - 1,35 km para linha de base de até 9 km;
 - 6,75 km para linha de base de até 45 km; e
 - 15,75 km para linha de base de até 105 km.
- ✓ Altitude elipsoidal entre 1.225 m e 625 m;
- ✓ Livre de obstruções; e
- ✓ Fácil acesso.

A classificação de acordo com o comprimento da linha de base é feita da seguinte forma (IBGE, 1993):

- ✓ Curta: < 15 km;
- ✓ Média: >15 km e < 100 km; e
- ✓ Longa: > 100 km.

Conforme a classificação citada optou-se por três comprimentos aproximados de linha de base. Uma curta, de 9 km (FIGURA 25), uma média de 45 km (FIGURA 26) e uma terceira longa, de 105 km (FIGURA 27).

Visto que um dos objetivos específicos é avaliar a acurácia da rede formada pelas estações, faz-se necessário ter uma distribuição homogênea dos pontos. A posição relativa dos vértices de uma rede GPS, ou seja, a geometria do polígono formado por eles, não interfere na sua posição final, mas sim o comprimento das

linhas de base, que deve ser o mais homogêneo possível (EVEN-TZUR¹⁹ *et al.*, 1996 *apud* MARINI e MONICO, 2003).

As estações devem ter a altitude elipsoidal mais semelhante possível, visto que, os efeitos atmosféricos atuarão de formas diferentes conforme a altitude elipsoidal e a distância entre as estações (KRUEGER, 1996).

O entorno da estação deve ser livre de obstruções evitando a atuação do efeito de multicaminho, o qual poderá deteriorar a acurácia da coordenada geodésica a ser determinada.

Os pontos serão denominados de acordo com o QUADRO 4.

Comprimento da linha de base (km)	Denominação do ponto
9	1
	2
	3
45	4
	5
	6
105	7
	8
	9

QUADRO 4 – COMPRIMENTO DA LINHA DE BASE E DENOMINAÇÃO DO PONTO
FONTE: A autora (2012)

¹⁹ EVEN-TZUR, G., PAPO, H. Optimization of GPS Networks by Linear Programming. Survey Review. 33: 262. 1996.

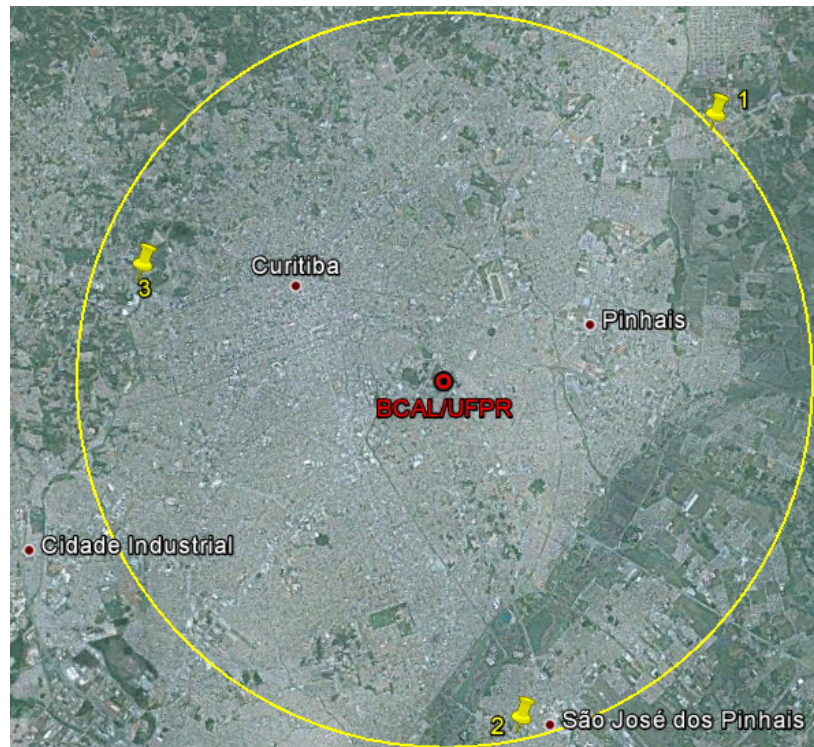


FIGURA 25 – LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DOS PONTOS DISTANTES DA BCAL/UFPR EM ATÉ 9 km

FONTE: Adaptado de Google Earth (2012)



FIGURA 26 – LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DOS PONTOS DISTANTES DA BCAL/UFPR EM ATÉ 45 km

FONTE: Adaptado de Google Earth (2012)



FIGURA 27 – LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DOS PONTOS DISTANTES DA BCAL/UFPR EM ATÉ 105 km

FONTE: Adaptado de Google Earth (2012)

Em uma segunda, e última etapa, foi utilizado o serviço de mapas *on-line* do Google, o *Google Maps*. Esta ferramenta foi útil na definição da melhor rota a ser seguida, visando a otimização do tempo para a visita a todas as estações.

Após o reconhecimento de campo, optou-se por não utilizar RN ou VT, visto que os marcos geodésicos pré-selecionados não atenderam aos pré-requisitos definidos anteriormente. Portanto, os 9 pontos foram determinados com uma chapa simples de metal conforme a FIGURA 28.



FIGURA 28 – CHAPA DE METAL PARA DETERMINAÇÃO DOS PONTOS

FONTE: A autora (2012)

3.4 LEVANTAMENTOS DE CAMPO

As observações GPS foram coletadas com o Método de Posicionamento Relativo Estático, com os equipamentos descritos na seção 3.2. O intervalo de gravação dos dados foi igual a 15 segundos, máscara de elevação de 15° com duração dos rastreios de aproximadamente 6 horas.

O QUADRO 5 apresenta um detalhamento da cidade onde se situam cada um dos pontos denominados de 1 à 9 (FIGURA 29 à FIGURA 37), bem como onde a chapa metálica foi fixada. Os pontos localizam-se em postos de combustível, praças ou parques.

Ponto	Cidade	Localidade	Descrição do ponto
1	Pinhais	Posto de combustível	Meio-fio do canteiro
2	São José dos Pinhais	Praça do Verbo Divino	Margem da ciclovia
3	Curitiba	Parque Barigui	Estacionamento
4	Campina Grande do Sul	Posto de combustível	Meio-fio do canteiro
5	Quitandinha	Posto de combustível	Meio-fio do canteiro
6	Balsa Nova	Posto de combustível	Meio-fio do canteiro
7	Barra do Turvo	Restaurante	Meio-fio do canteiro
8	Mafra	Posto de combustível	Concreto no canteiro
9	Ponta Grossa	Posto da Polícia Rodoviária Militar	Meio-fio do estacionamento

QUADRO 5 – LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DOS PONTOS
FONTE: A autora (2012)



FIGURA 29 – PONTO 1
FONTE: A autora (2012)



FIGURA 30 – PONTO 2
FONTE: A autora (2012)



FIGURA 31 – PONTO 3
FONTE: A autora (2012)



FIGURA 32 – PONTO 4
FONTE: A autora (2012)



FIGURA 33 – PONTO 5
FONTE: A autora (2012)



FIGURA 34 – PONTO 6
FONTE: A autora (2012)



FIGURA 35 – PONTO 7
FONTE: A autora (2012)



FIGURA 36 – PONTO 8
FONTE: A autora (2012)



FIGURA 37 – PONTO 9
FONTE: A autora (2012)

Nos pontos selecionados, mediante os pré-requisitos citados na seção 3.3, foram realizadas as observações GPS, conforme se pode verificar no QUADRO 6.

Ponto	Dia GPS	Data do levantamento	Horário inicial	Horário final	Duração do levantamento
1	48	17/02/2012	08h11min00s	14h11min15s	6h00min15s
	47	16/02/2012	08h51min30s	14h51min15s	5h59min45s
2	48	17/02/2012	08h10min45s	14h10min30s	5h59min45s
	47	16/02/2012	08h51min30s	14h52min15s	6h00min45s
3	48	17/02/2012	08h09min45s	14h10min00s	6h00min15s
	47	16/02/2012	08h50min45s	14h51min30s	6h00min45s
4	44	13/02/2012	09h29min30s	15h31min15s	6h01min45s
	45	14/02/2012	10h09min15s	16h10min15s	6h01min00s
5	44	13/02/2012	09h30min30s	15h31min00s	6h00min30s
	45	14/02/2012	10h10min30s	16h11min00s	6h00min30s
6	44	13/02/2012	09h29min00s	15h30min00s	6h01min00s
	45	14/02/2012	14h29min15s	16h30min15s	4h01min00s
7	69	09/03/2012	09h19min30s	15h31min15s	6h11min45s
	68	08/03/2012	10h08min15s	16h08min15s	6h00min00s
8	69	09/03/2012	09h25min30s	15h26min15s	6h00min45s
	68	08/03/2012	09h59min45s	15h59min30s	5h59min45s
9	69	09/03/2012	09h18min30s	15h30min00s	6h11min30s
	68	08/03/2012	09h55min15s	16h01min15s	6h06min00s

QUADRO 6 – DIA, HORÁRIO E DURAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO
 FONTE: A autora (2012)

Realizou-se um total de 18 observações GPS visando a análise do efeito de multicaminho. Para o processamento dos dados GPS, com o objetivo de determinar os vetores formados entre as estações observadas e as coordenadas geodésicas, bem como, análises sobre a utilização dos parâmetros de calibração, optou-se por utilizar somente 9 observações GPS (dias GPS 44, 48 e 69) do total efetuado. Nelas não foram acoplados os materiais isolantes atenuadores do efeito de multicaminho abaixo das antenas GPS.

O QUADRO 7 apresenta a versão do material isolante usado em cada ponto, assim como, número de série de cada receptor GPS e modelo de antena utilizado em cada estação. Distinguir o receptor utilizado em cada ponto é importante, pois embora os receptores sejam do mesmo fabricante e mesmo modelo, cada receptor apresenta características individuais.

Ponto	Dia GPS	Material isolante	Receptor	Antena
			Número de série / denominação	Modelo / número de série / denominação
1	48	Sem material	460868 / LAIG	LEIATX 1230 / 155949 / LAIG
	47	AEM-LAGE		
2	48	Sem material	472647 / A	LEIAX 1202 GG / 8490007 / A
	47	AEM-LAGEH 2		
3	48	Sem material	480327 / C	LEIAX 1203+ GNSS / 9030001 / C
	47	AEM-LAGEH 3		
4	44	Sem material	460868 / LAIG	LEIATX 1230 / 155949 / LAIG
	45	AEM-LAGE		
5	44	Sem material	472647 / A	LEIAX 1202 GG / 8490007 / A
	45	AEM-LAGEH 2		
6	44	Sem material	480327 / C	LEIAX 1203+ GNSS / 9030001 / C
	45	AEM-LAGEH 3		
7	69	Sem material	480327 / C	LEIAX 1203+ GNSS / 9030001 / C
	68	AEM-LAGE		
8	69	Sem material	460868 / LAIG	LEIATX 1230 / 155949 / LAIG
	68	AEM-LAGEH 2		
9	69	Sem material	472647 / A	LEIAX 1202 GG / 8490007 / A
	68	AEM-LAGEH 3		

QUADRO 7 – MATERIAS UTILIZADOS EM CADA PONTO
 FONTE: A autora (2012)

Visando contribuir nas análises do efeito de multicaminho, em cada um dos pontos, foi realizado o levantamento das obstruções no entorno do ponto em questão. Assim, com o auxílio de um teodolito foram medidos os azimutes iniciais e finais, bem como, os ângulos de elevação de cada obstrução existente ao entorno do ponto. Com estas informações elaborou-se o diagrama de obstruções.

3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS GPS

Para a determinação das coordenadas geodésicas dos pontos de 1 à 9 (QUADRO 7), utilizando diversos parâmetros de calibração foi usado o programa *Leica Geo Office* (seção 3.2.1). A estação base foi o pilar 2000 (Norte), pertencente à BCAL/UFPR (2.5).

Para todos os comprimentos de linha de base foram aplicadas as efemérides finais (2.4.1), fornecidas no sítio do IGS, e máscara de elevação de 15°. Para a

correção do efeito da troposfera foi utilizado o modelo de *Hopfield*, (SEEBER, 2003). Este modelo somente foi utilizado para os comprimentos de linha de base de 45 km e 105 km. Para a linha de base de 9 km não foi empregado nenhum modelo troposférico, visto que ao se aplicar o método de posicionamento relativo este erro para linhas de base curtas pode ser desconsiderado nas estações envolvidas (2.4.2). Para a correção do 1º efeito da ionosfera foi utilizado a combinação linear das ondas portadoras denominada *Iono-free* (L_3). Ela somente foi aplicada para os comprimentos de linha de base de 45 km e 105 km. Para a linha de base de 9 km foi utilizada a combinação linear L_1+L_2 , pois a utilização da L_3 implica em ampliar os ruídos para linhas de base curtas. Para os pontos com linhas de base médias (45 km), também foi empregada a L_1+L_2 .

Foram criados quatro processamentos distintos. O primeiro sem aplicar qualquer parâmetro de calibração. No segundo foram inseridos, para as três antenas utilizadas, os parâmetros médios absolutos do NGS (QUADRO 8). Ressalta-se que, apenas os parâmetros relativos, convertidos para absolutos, para a antena LEIATX 1230 estão disponíveis e não os parâmetros absolutos. O terceiro processamento incluiu os valores de PCO e PCV médios relativos do NGS (QUADRO 9). No quarto processamento foram inseridos os parâmetros gerados na BCAL/UFPR (QUADRO 10). Lembra-se que estes parâmetros são relativos em nível absoluto (seção 2.4.6).

LEIAX 1202 GG			
PCO L1 – Norte (mm)	1,64	PCO L2 – Norte (mm)	-1,20
PCO L1 – Leste (mm)	-0,52	PCO L2 – Leste (mm)	0,23
PCO L1 – Vertical (mm)	63,42	PCO L2 – Vertical (mm)	62,13
LEIATX 1230			
PCO L1 – Norte (mm)	0,98	PCO L2 – Norte (mm)	0,02
PCO L1 – Leste (mm)	2,13	PCO L2 – Leste (mm)	-1,09
PCO L1 – Vertical (mm)	92,45	PCO L2 – Vertical (mm)	97,25
LEIAX 1203+GNSS			
PCO L1 – Norte (mm)	-1,03	PCO L2 – Norte (mm)	-0,20
PCO L1 – Leste (mm)	1,35	PCO L2 – Leste (mm)	-2,38
PCO L1 – Vertical (mm)	58,32	PCO L2 – Vertical (mm)	55,54

QUADRO 8 – PCO ABSOLUTO DO NGS DAS ANTENAS LEIAX 1202 GG, LEIATX 1230 E LEIAX 1203+GNSS
FONTE: NGS (2012)

LEIAX 1202 GG			
PCO L1 - Norte (mm)	1,60	PCO L2 - Norte (mm)	-1,20
PCO L1 - Leste (mm)	-0,50	PCO L2 - Leste (mm)	0,20
PCO L1 - Vertical (mm)	63,40	PCO L2 - Vertical (mm)	62,10
LEIATX 1230			
PCO L1 - Norte (mm)	1,00	PCO L2 - Norte (mm)	0,00
PCO L1 - Leste (mm)	2,10	PCO L2 - Leste (mm)	-1,10
PCO L1 - Vertical (mm)	92,40	PCO L2 - Vertical (mm)	97,30
LEIAX 1203+GNSS			
PCO L1 - Norte (mm)	-1,00	PCO L2 - Norte (mm)	-0,20
PCO L1 - Leste (mm)	1,40	PCO L2 - Leste (mm)	-2,40
PCO L1 - Vertical (mm)	58,30	PCO L2 - Vertical (mm)	55,50

QUADRO 9 – PCO RELATIVO DO NGS DAS ANTENAS LEIAX 1202 GG, LEIATX 1230 E LEIAX 1203+GNSS

FONTE: NGS (2012)

LEIAX 1202 GG			
PCO L1 - Norte (mm)	1,36	PCO L2 - Norte (mm)	-0,51
PCO L1 - Leste (mm)	-0,58	PCO L2 - Leste (mm)	0,31
PCO L1 - Vertical (mm)	63,39	PCO L2 - Vertical (mm)	64,17
LEIATX 1230			
PCO L1 - Norte (mm)	1,33	PCO L2 - Norte (mm)	-0,42
PCO L1 - Leste (mm)	0,77	PCO L2 - Leste (mm)	2,26
PCO L1 - Vertical (mm)	87,78	PCO L2 - Vertical (mm)	89,73
LEIAX 1203+GNSS			
PCO L1 - Norte (mm)	-0,96	PCO L2 - Norte (mm)	-0,08
PCO L1 - Leste (mm)	1,24	PCO L2 - Leste (mm)	-2,57
PCO L1 - Vertical (mm)	59,38	PCO L2 - Vertical (mm)	55,97

QUADRO 10 – PCO RELATIVO EM NÍVEL ABSOLUTO DA BCAL/UFPR DAS ANTENAS LEIAX 1202 GG, LEIATX 1230 E LEIAX 1203+GNSS

No QUADRO 11 tem-se um panorama das observações GPS para a geração dos parâmetros pela BCAL/UFPR. As três antenas utilizadas nos levantamentos foram calibradas em três dias próximos e foram submetidas à mesma metodologia para a calibração. O intervalo de gravação dos dados foi igual a 15 segundos, máscara de elevação de 0° e de 10° no processamento. O receptor utilizado foi o *Leica* GPS 1200 e a antena de referência foi a LEIAR25. Foram realizadas 3 sessões de rastreamento com duração de 24 horas para cada antena. Ao longo das horas de rastreios foram verificadas as condições meteorológicas em que as antenas estavam sendo submetidas. Isto é de fundamental importância, pois estão sendo desenvolvidos no LAGEH trabalhos onde é apresentada a influência das condições climáticas sobre os parâmetros gerados. Após as análises de

resíduos das Duplas Diferenças e valores de GDOP²⁰ (*Geometric Dilution of Precision*), das observações, foram escolhidas as observações que mais favoreceram a correta determinação dos parâmetros de calibração.

Calibração relativa da BCAL/UFPR			
Antena	Dia GPS	Data da observação	Horário inicial
LEIAX 1202 GG	93	02/04/2012	12h23min45s
LEIATX 1230	85	25/03/2012	13h13min30s
LEIAX 1203+GNSS	87	27/03/2012	15h02min30s

QUADRO 11 – DADOS DOS LEVANTAMENTOS DE CAMPO PARA REALIZAÇÃO DA CALIBRAÇÃO
FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 38 exemplifica o esquema dos processamentos realizados.

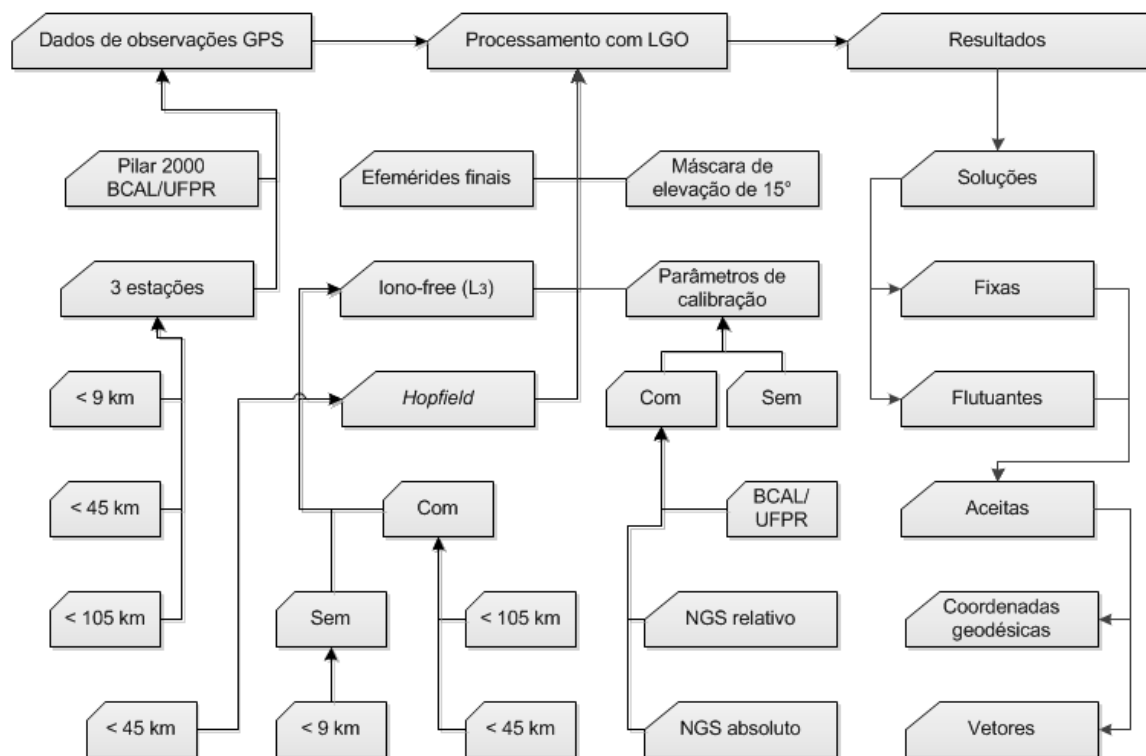


FIGURA 38 – ESQUEMA COM ETAPAS, DADOS E CONDIÇÕES DOS PROCESSAMENTOS
FONTE: A autora (2012)

²⁰ O GDOP fornece a degradação da precisão do posicionamento a partir da posição tridimensional e determinação do tempo.

3.6 DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DO PILAR 2000 (NORTE) DA BCAL/UFPR

A determinação das coordenadas geodésicas de uma estação que posteriormente será utilizada como estação base para outros pontos requer uma alta precisão. Desta forma, a escolha do equipamento a ser utilizado é de grande importância. Assim, para aplicações que exigem alta precisão são necessárias antenas que possuem maior estabilidade no centro de fase da antena e proteção contra o efeito de multicaminho (YUNK *et al.*, 1989 *apud* SOUSA, 2005). Para atenuar de forma mais significativa o efeito de multicaminho no pilar 2000 (Norte) foi utilizada a antena *Choke Ring* 3D (LEIAR25) com o material isolante de efeito multicaminho C-RAM, o qual foi acoplado sob da antena.

Seguindo a norma de homologação de marcos geodésicos (IBGE, 2007), foi aplicado o Método de Posicionamento Relativo Estático²¹, com quatro sessões de seis horas, com intervalo mínimo entre as sessões de 1h e máximo de 48h, intervalo de gravação de dados de 15 segundos e máscara de elevação de 15°. Também poderia ser aplicado o Método de Posicionamento por Ponto Preciso. Este método tem a vantagem de não necessitar de uma estação de referência para o pós-processamento.

No QUADRO 12 tem-se um panorama das observações GPS para a determinação das coordenadas geodésicas precisas do pilar 2000 (Norte). Foram realizadas quatro sessões em dois dias de levantamentos.

Calibração relativa da BCAL/UFPR				
Dia GPS	Data da observação	Horário inicial	Horário final	Duração do rastreo
31	31/01/2012	06h01min30s	12h01min15s	5h59min45s
31	31/01/2012	13h01min15s	19h01min15s	6h00min00s
32	01/02/2012	05h59min45s	11h59min30s	5h59min45s
32	01/02/2012	12h59min15s	18h59min00s	5h59min45s

QUADRO 12 – DIA, HORÁRIO E DURAÇÃO DOS RASTREIOS

FONTE: A autora (2012)

²¹ Esse método consiste em dois ou mais receptores rastreando, simultaneamente, os satélites visíveis por um período de tempo que podem variar de 20 minutos a até algumas horas (MONICO, 2008).

No processamento das observações foi utilizada a estação de referência Curitiba UFPR (FIGURA 39) pertencente à RBMC e os parâmetros de calibração das antenas envolvidas. A estação base Curitiba UFPR dista não mais que 40 metros do pilar 2000 (Norte), formando uma linha de base muito curta, por isto no processamento não foram aplicados efemérides precisas e modelos de correção da ionosfera e troposfera.

Para a obtenção de uma única coordenada geodésica precisa, as 4 sessões foram ajustadas no programa LGO após constatar-se que, as soluções eram advindas de uma solução dos inteiros das ambiguidades e sem perdas de sinal. Este programa utiliza, um módulo chamado, MOVE 3 para a realização do ajustamento. Destaca-se que, no processamento dos dados GPS foram utilizadas as efemérides transmitidas, visto que o emprego de qualquer outra efemérides não acarretaria em nenhuma mudança nas coordenadas geodésicas pois, a linha de base utilizada é extremamente curta (32 m).

A estação Curitiba UFPR é equipada com um receptor NetR5 e uma antena Zephyr GNSS Geodetic Model 2 (TRM55971.00) (FIGURA 40). Suas coordenadas geodésicas precisas estão referenciadas ao SIRGAS2000, época 2000,4, conforme o QUADRO 13.



FIGURA 39 – ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CURITIBA UFPR
FONTE: A autora (2012)



FIGURA 40 – RECEPTOR E ANTENA DA ESTAÇÃO CURITIBA UFPR
FONTE: TRIMBLE (2011)

Coordenadas geodésicas precisas			
Latitude	25° 26' 54,1269" S	Desvio padrão (m)	0,001
Longitude	49° 13' 51,4372" W		0,001
Altitude elipsoidal (m)	925,81		0,004
Altitude ortométrica (m)	922,14	Fonte	GPS/MAPGEO2010

QUADRO 13 – COORDENADAS GEODÉSICAS PRECISAS DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA CURITIBA UFPR
FONTE: IBGE (2011)

No processamento foram inseridos os parâmetros da antena LEIAR25, calibrada através do método absoluto pela empresa Geo++ (2.4.6.1.2) e os valores médios, para a antena *Zephyr GNSS Geodetic Model 2* (TRM55971.00) da estação Curitiba UFPR, fornecidos no sítio eletrônico do NGS. Estes valores do NGS referem-se a parâmetros de calibração relativos convertidos para absolutos. O QUADRO 14 apresenta os valores de PCO para ambas as antenas utilizadas no processamento para a determinação das coordenadas geodésicas do pilar 2000 (Norte).

TRM55971.00			
PCO L1 - Norte (mm)	1,29	PCO L2 - Norte (mm)	1,26
PCO L1 - Leste (mm)	-0,19	PCO L2 - Leste (mm)	-1,38
PCO L1 - Vertical (mm)	66,73	PCO L2 - Vertical (mm)	159,5
LEIAR25			
PCO L1 - Norte (mm)	0,38	PCO L2 - Norte (mm)	0,26
PCO L1 - Leste (mm)	0,61	PCO L2 - Leste (mm)	-1,23
PCO L1 - Vertical (mm)	57,69	PCO L2 - Vertical (mm)	162,26

QUADRO 14 – PCO DAS ANTENAS TRM55971.00 E LEIAR25
FONTE: NGS (2012)

3.7 ANÁLISE DO EFEITO DE MULTICAMINHO DAS OBSERVAÇÕES DOS PONTOS

De acordo com o exposto na seção 2.4.4 o efeito de multicaminho se caracteriza por sinais não advindos diretamente do satélite e sim, por sinais oriundos de reflexões de objetos ou superfícies próximas à antena do receptor GPS.

Com o objetivo de verificar a qualidade das observações e quantificar o efeito de multicaminho nos pontos de 1 à 9, os arquivos obtidos através dos rastreios nos pontos, seção 3.4, foram processados no programa TEQC. Uma sessão de cada ponto foi tomada com o uso de uma versão do material atenuador de efeito de multicaminho, AEM-LAGEH, outra sessão foi realizada sem qualquer material atenuador, conforme descrito na seção 3.4. Para esta análise foi configurado no programa TEQC uma máscara de 15° de elevação, a mesma máscara utilizada no processamento das observações GPS.

A FIGURA 41 apresenta um esquema que exemplifica as etapas, os dados que serão utilizados e os resultados obtidos que possibilitaram as futuras análises.

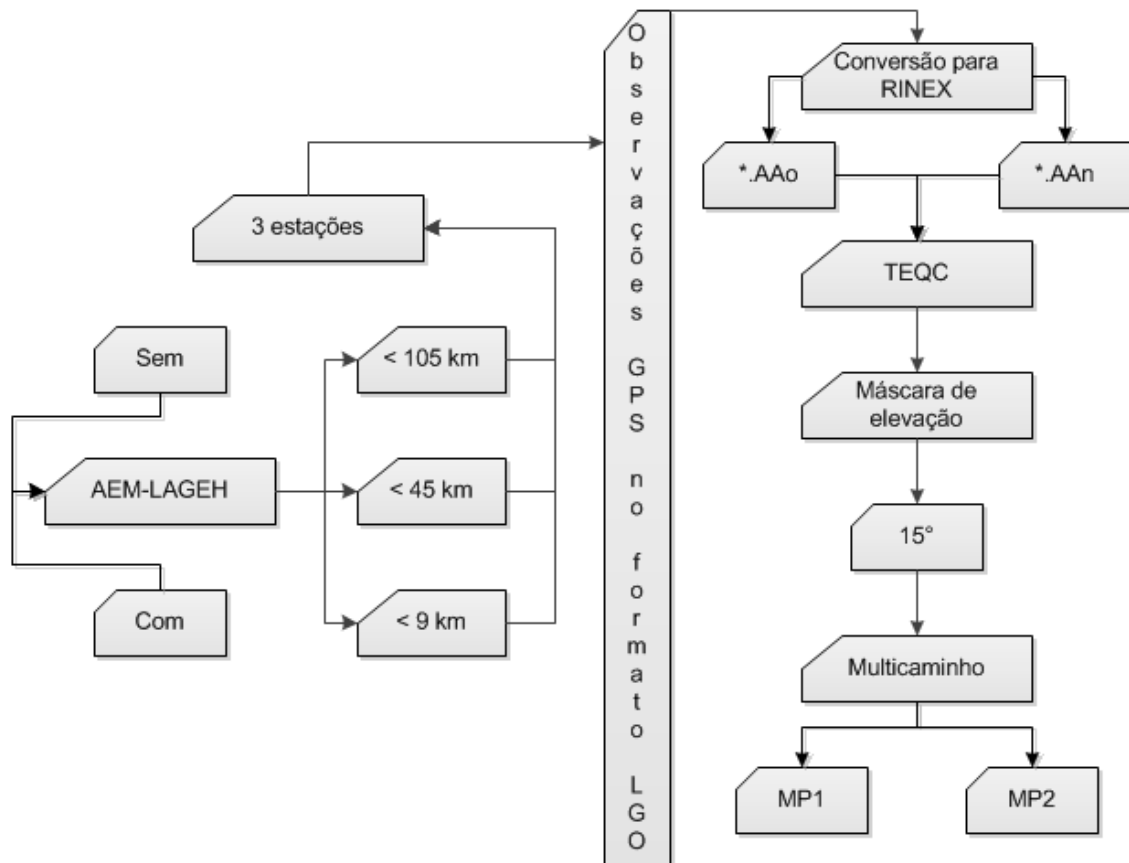


FIGURA 41 – ESQUEMA PARA A OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES PARA A ANÁLISE DO EFEITO DE MULTICAMINHO
 FONTE: A autora (2012)

3.8 A INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO PARA DIFERENTES COMPRIMENTOS DE LINHA DE BASE

Quando se almeja alta precisão em um posicionamento nem sempre se dispõe de uma estação base próxima ao ponto de interesse. Desta forma, por vezes faz-se necessária a utilização de linhas de base com comprimentos médios e longos. Diante disto, serão realizadas análises quanto à influência dos parâmetros de calibração para diferentes comprimentos de linhas de base.

Utilizando os dados referentes aos rastreios citados na seção 3.4 e os processamentos já realizados e citados na seção 3.5, foram utilizadas algumas informações para a realização das análises.

Visto que para cada grupo de linhas de base, com rastreios simultâneos, as condições no instante de rastreio foram semelhantes, foi realizada uma análise criteriosa para cada conjunto. São elas:

- ✓ Coordenadas geodésicas e desvios-padrão;
- ✓ Vetores formados (linhas de base) e desvios-padrão;
- ✓ Solução das ambiguidades;
- ✓ Resíduos das Duplas Diferenças de Fase;
- ✓ Elevação dos satélites com relação ao plano de observação e número de satélites; e
- ✓ GDOP.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção será apresentada a análise realizada visando a determinação do efeito de multicaminho e as coordenadas geodésicas precisas dos pontos empregados no presente trabalho. Nessa seção também são apresentadas as análises e resultados da influência dos parâmetros de calibração para diferentes comprimentos de linha de base e as coordenadas geodésicas obtidas com diferentes parâmetros de calibração, conforme descritos na seção 3.

4.1 COORDENADAS PRECISAS DO PILAR 2000 (NORTE) DA BCAL/UFPR

Seguindo a metodologia descrita na seção 3.6, foram obtidas as coordenadas precisas do pilar 2000 (Norte) da BCAL/UFPR. A TABELA 1 mostra um resumo das principais informações advindas dos processamentos das 4 sessões.

TABELA 1 – RESUMO DO PROCESSAMENTO DO PILAR 2000 (NORTE) DA BCAL/UFPR

Sessão	Linha de base (m)	Número de satélites		GDOP		Solução das ambiguidades	Combinação linear
		GPS	GLONASS	Mínimo	Máximo		
1	32,1120	16	5	1,6	4,1	Fixa	L_1+L_2
2	32,1150	15	0	1,9	4,0	Fixa	L_1+L_2
3	32,1156	16	7	1,5	3,8	Fixa	L_1+L_2
4	32,1149	15	0	1,9	4,0	Fixa	L_1+L_2

FONTE: A autora (2012)

A TABELA 1 permite verificar uma discrepância máxima, no comprimento da linha de base, de 3,6 mm e mínima de 2,9 mm. O menor GDOP foi de 1,5, na sessão 3, quando o rastreo contou com 16 satélites da constelação GPS e 7 satélites da constelação GLONASS. Para as 4 sessões todas as ambiguidades foram resolvidas com a combinação linear L_1+L_2 .

Foi verificado o efeito de multicaminho nas ondas portadoras L_1 e L_2 . A TABELA 2 apresenta os resultados obtidos.

TABELA 2 – EFEITO DE MULTICAMINHO DO PILAR 2000 (NORTE) DA BCAL/UFPR NA DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS PRECISAS

Dia GPS	Sessão	Material isolante	Máscara de elevação de 15°	
			MP ₁ (m)	MP ₂ (m)
31	1	C-RAM	0,3741	0,2748
31	2		0,3195	0,2436
32	1		0,3924	0,2874
32	2		0,3170	0,2457

FONTE: A autora (2012)

Na TABELA 2 verifica-se que, a média do efeito de multicaminho para a onda portadora L₁ foi de 0,3508, e de 0,2629 para a onda portadora L₂. A sessão 1 de cada um dos dias GPS obteve, para ambas as ondas portadoras, maior efeito de multicaminho. Lembra-se que, estas sessões contaram com satélites da constelação GLONASS (TABELA 1).

Foi realizado o ajustamento conforme citado na seção 3.6 e as coordenadas geodésicas precisas e seus desvios-padrão estão indicados na TABELA 3. Verifica-se que os desvios-padrão ficaram na ordem do milímetro.

TABELA 3 – COORDENADAS PRECISAS DO PILAR 2000 (NORTE) DA BCAL/UFPR

Coordenadas geodésicas precisas do pilar 2000 (Norte) da BCAL/UFPR			
Latitude	25° 26' 54,88207" S		0,0013
Longitude	49° 13' 52,22858" O	σ (m)	0,0013
Altitude Elipsoidal	927,3742 m		0,0013

FONTE: A autora (2012)

4.2 EFEITO DE MULTICAMINHO DAS OBSERVAÇÕES DOS PONTOS

Com o objetivo de verificar o efeito de multicaminho de cada ponto e de analisar as três versões do material isolante de efeito de multicaminho foram realizados rastreios conforme descrito na seção 3.4. A primeira versão chamada de AEM-LAGEH, já teve sua eficácia comprovada (VISKI *et al.*, 2010). As outras duas versões (AEM-LAGEH1 e AEM-LAGEH2) produzidas, não foram testadas previamente e, portanto até o momento não se conhecia o desempenho destes materiais na atenuação do efeito de multicaminho.

Visto que, o efeito do multicaminho (seção 2.4.4) também depende do ângulo de incidência do sinal GPS, torna-se imprescindível o conhecimento da

constelação GPS disponível no instante do levantamento. Esta informação é importante, pois os rastreios embora simultâneos, não ocorreram exatamente no mesmo horário no dia consecutivo. Contudo, salienta-se que o período de revolução dos satélites GPS é de 11h57min58,3s (tempo sideral). No entanto, o intervalo, entre o início da ocupação e da reocupação dos pontos, foi de alguns minutos maior ou menor que dois períodos de revolução dos satélites GPS, conforme citado na seção 3.4.

As figuras (FIGURA 42 e FIGURA 43) mostram os satélites disponíveis e a situação (elevação e azimute) de cada satélite rastreado nos dias GPS 47 e 48. Nota-se que, parte da órbita de alguns satélites está abaixo da máscara de elevação de 15° (círculo em cinza escuro). As observações obtidas neste intervalo de tempo em que a órbita, dos satélites, está abaixo daquela elevação não foram consideradas nos processamentos.

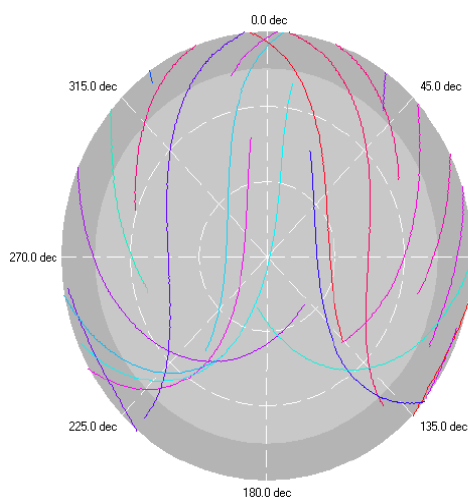


FIGURA 42 – CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 47
FONTE: A autora (2012)

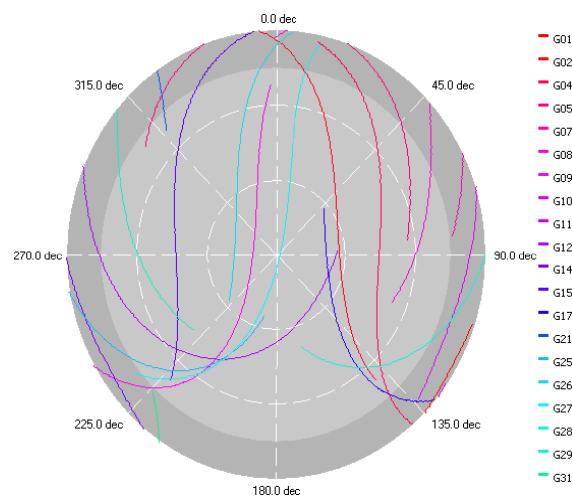


FIGURA 43 – CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 48
FONTE: A autora (2012)

Diante dos diagramas de obstruções (FIGURA 44, FIGURA 45 e FIGURA 46), observa-se que o ponto 1 detêm o menor número de obstruções. Sendo que, em sua maioria os obstáculos eram artificiais, e.g. placas e postes de iluminação pública. As quantidades de obstáculos dos pontos 2 e 3 são semelhantes, no entanto o ponto 3 contava com mais obstruções por árvores, em contrapartida o ponto 2 tinha ao seu entorno mais obstáculos artificiais, e.g. muros.

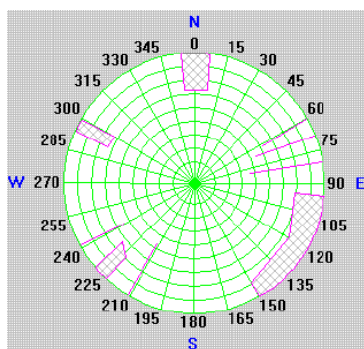


FIGURA 44 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 1
FONTE: A autora (2012)

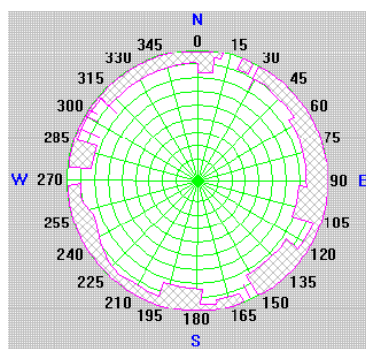


FIGURA 45 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 2
FONTE: A autora (2012)

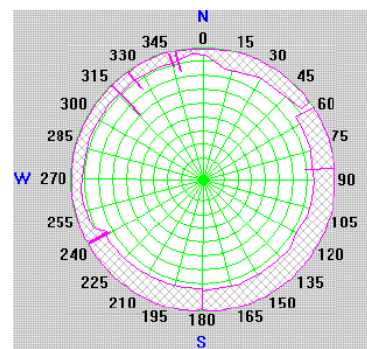


FIGURA 46 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 3
FONTE: A autora (2012)

Através do programa TEQC foram geradas informações relevantes do efeito de multicaminho. Processando os arquivos RINEX, foi possível obter a média do efeito de multicaminho atuante para cada ponto rastreado.

A TABELA 4 apresenta os resultados obtidos para os pontos de linhas de base curtas, denominados de 1, 2 e 3.

TABELA 4 – EFEITO DE MULTICAMINHO PARA OS PONTOS DE 9 km

Dia GPS	Ponto	Conjunto receptor/antena	Material isolante	Condição do material	Máscara de elevação de 15°	
					MP ₁ (m)	MP ₂ (m)
48	1	LAIG	-----	-----	0,2379	0,2730
47			AEM-LAGE	Molhado	0,2903	0,2814
48	2	A	-----	-----	0,2603	0,2986
47			AEM-LAGEH1	Molhado	0,2770	0,3072
48	3	C	-----	-----	0,2192	0,3069
47			AEM-LAGEH2	Molhado	0,2390	0,3062

FONTE: A autora (2012)

É possível observar que (TABELA 4), nos dias em que foram utilizados os materiais atenuadores de efeito de multicaminho os resultados não foram os esperados. Nota-se que, somente para a ponto 3, na portadora L₂, ocorreu a atenuação do efeito de multicaminho, quando utilizado o material atenuador. Observa-se que, nos dias em que não foi acoplado o material atenuador, portanto, as medições GPS utilizadas para a determinação das coordenadas geodésicas dos pontos, o menor multicaminho, considerando a média entre MP₁ e MP₂, ocorreu para o ponto 1 e foi igual a 0,2555 m. Atenta-se que a discrepância mínima, na portadora L₁, do efeito de multicaminho, com e sem AEM, ocorre no ponto 2. Nota-se que, para

o ponto 3, o material isolante, mesmo úmido, apresentou uma atenuação mínima, na portadora L_2 , de aproximadamente 0,7 mm.

É possível verificar nas figuras (FIGURA 47 e FIGURA 48) os satélites disponíveis e a situação (elevação e azimute) de cada satélite rastreado nos dias GPS 44 e 45. Parte da órbita de alguns satélites está abaixo da máscara de elevação de 15° (círculo em cinza escuro). Novamente, os trechos das órbitas dos satélites abaixo da máscara e os satélites que não chegaram a elevação mínima de 15° foram eliminados nos processamentos.

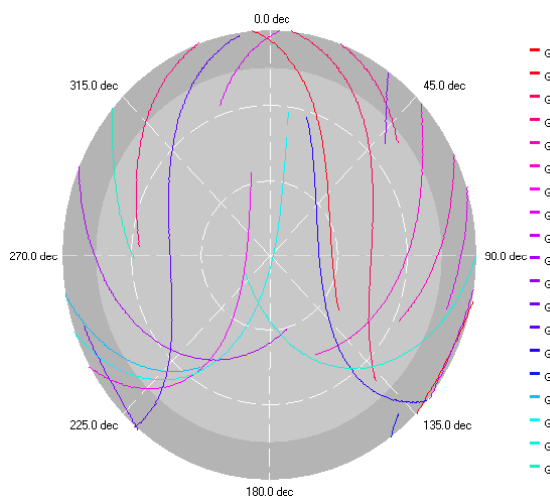


FIGURA 47 – CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 44
FONTE: A autora (2012)

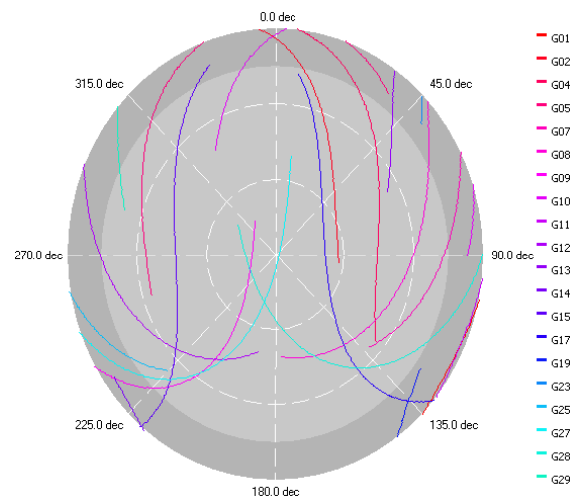


FIGURA 48 – CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 45
FONTE: A autora (2012)

Os diagramas de obstruções (FIGURA 49, FIGURA 50 e FIGURA 51), ilustram os obstáculos fixos presentes ao entorno dos pontos rastreados. Nota-se que, o ponto 4 contém a maior quantidade de obstruções. Em contrapartida, o ponto 6 detêm a menor quantidade de obstáculos. No entanto, durante os levantamentos verificou-se que este ponto apresentou o maior número de obstruções móveis, e.g. caminhões, parados ao seu entorno. Tal fato definitivamente influenciou para o aumento do efeito de multicaminho.

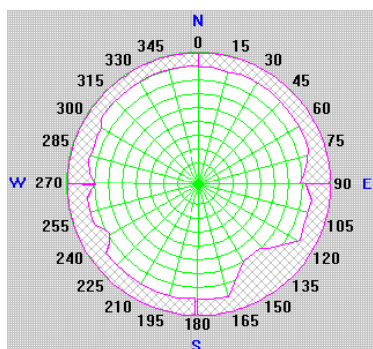


FIGURA 49 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 4
FONTE: A autora (2012)

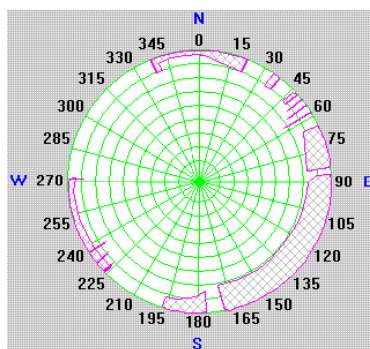


FIGURA 50 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 5
FONTE: A autora (2012)

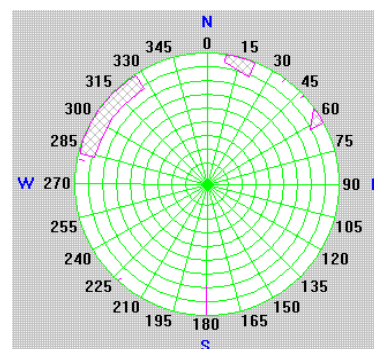


FIGURA 51 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 6
FONTE: A autora (2012)

Verifica-se na TABELA 5 os resultados de efeito de multicaminho, obtidos para os pontos que formam linhas de base médias, denominados de 4, 5 e 6.

TABELA 5 – EFEITO DE MULTICAMINHO PARA OS PONTOS DE 45 km

Dia GPS	Ponto	Equipamento utilizado	Material isolante	Condição do material	Máscara de elevação de 15°	
					MP ₁ (m)	MP ₂ (m)
44	4	LAIG	-----	-----	0,1786	0,1864
45			AEM-LAGEH	Molhado	0,2249	0,2416
44	5	A	-----	-----	0,1499	0,1652
45			AEM-LAGEH1	Molhado	0,1519	0,1717
44	6	C	-----	-----	0,7556	1,5186
45			AEM-LAGEH2	Molhado	0,5000	0,9847

FONTE: A autora (2012)

Observando esta tabela (TABELA 5), é possível notar que, nos dias em que foram utilizados os materiais atenuadores de efeito de multicaminho, os resultados pioraram, para os pontos 4 e 5, e melhor para o ponto 6. Atenta-se que, mesmo com o AEM-LAGEH molhado, neste ponto houve uma melhora de cerca de 34%, na onda portadora L_1 , e de cerca de 35%, na portadora L_2 . Para o ponto 6, salienta-se que, embora molhado, o material isolante, apresentou melhora da ordem de centímetros. Isto mostra que, quando submetido a ambientes onde o efeito de multicaminho atua de forma fora do comum, visto que a média de efeito de multicaminho para todos os demais pontos é igual a 25,6 cm, o material foi eficiente.

As FIGURA 52 e FIGURA 53 apresentam um intervalo dos resíduos da DDF, na onda portadora L_1 , das observações advindas do satélite GPS PRN12 no ponto 6 sem e com o uso do material atenuador (dias GPS 44 e 45). Salienta-se que neste intervalo o PRN12 estava em baixa elevação, entre 35° e 50°, ocasionando, devido

as obstruções presentes no entorno do ponto, mais erros advindos do efeito de multicaminho. Os resíduos foram calculados entre o satélite de referência (PRN27) e o PRN12 observado durante o período de levantamento no ponto 6. Verifica-se que, houve uma diminuição dos resíduos da DDF, confirmando a eficiência do material atenuador de efeito de multicaminho. O PRN12, para este ponto, obteve média dos resíduos de -1,9 cm, com o emprego do AEM-LAGEH, e de -3,8 cm sem a utilização do material atenuador.

As FIGURA 54 e FIGURA 55 apresentam os resíduos da DDF, na onda portadora L_1 , para o ponto 5, sem e com o emprego do AEM-LAGEH. O PRN12, para este ponto, obteve média dos resíduos de -11,2 cm, com o emprego do AEM-LAGEH, e de -1,2 cm sem a utilização do material atenuador.

Comparando o mesmo intervalo de resíduos dos pontos 5 e 6 sem a utilização de material atenuador, verifica-se que o ponto 5 apresentou os menores resíduos. Constatando que, sem o emprego de uma versão do AEM-LAGEH, o ponto 5 sofreu menos com o efeito de multicaminho.

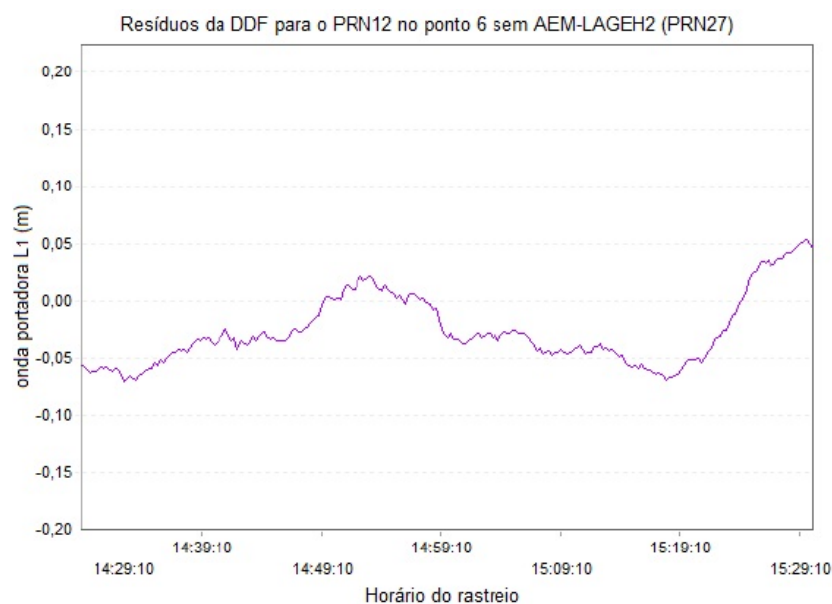


FIGURA 52 – RESÍDUOS DA DDF (PRN12), NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 6 SEM AEM-LAGEH2
 FONTE: A autora (2012)

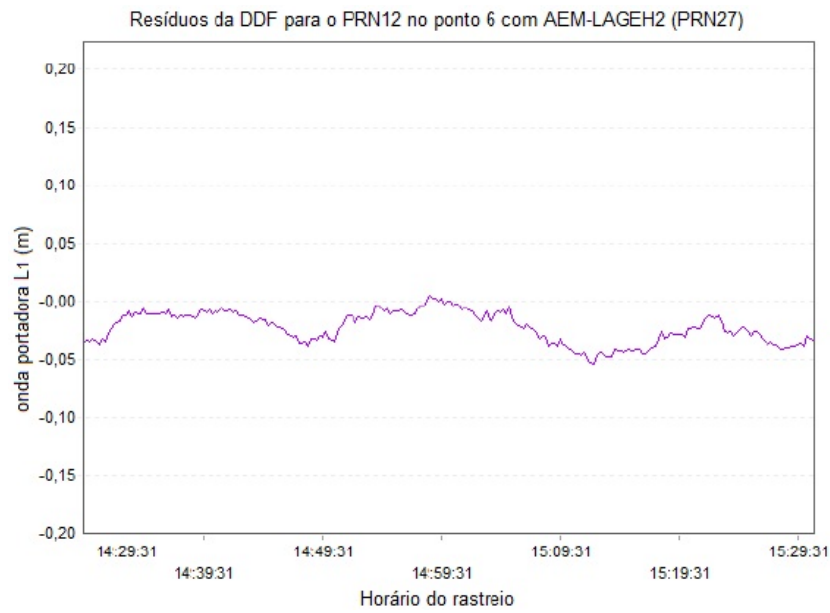


FIGURA 53 – RESÍDUOS DA DDF (PRN12), NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 6 COM AEM-LAGEH2

FONTE: A autora (2012)

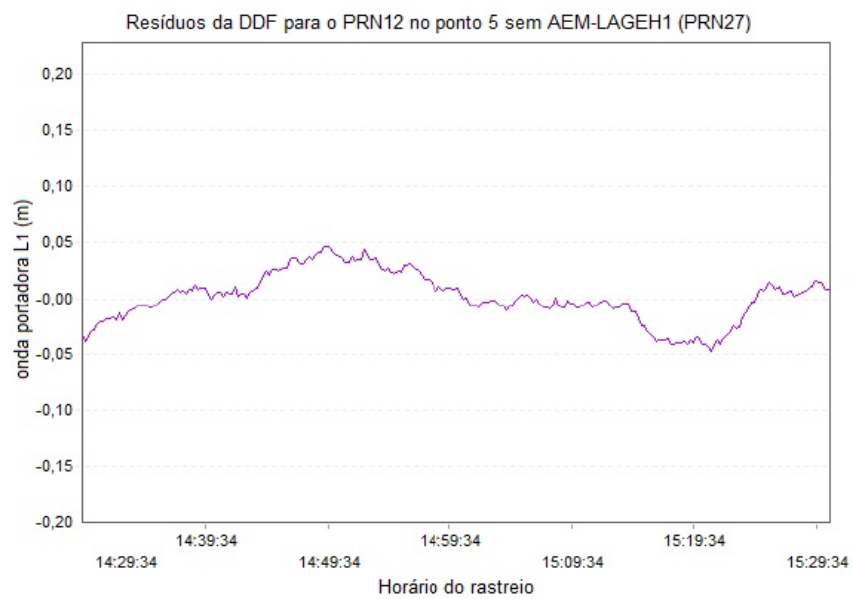


FIGURA 54 – RESÍDUOS DA DDF (PRN12), NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 5 SEM AEM-LAGEH

FONTE: A autora (2012)

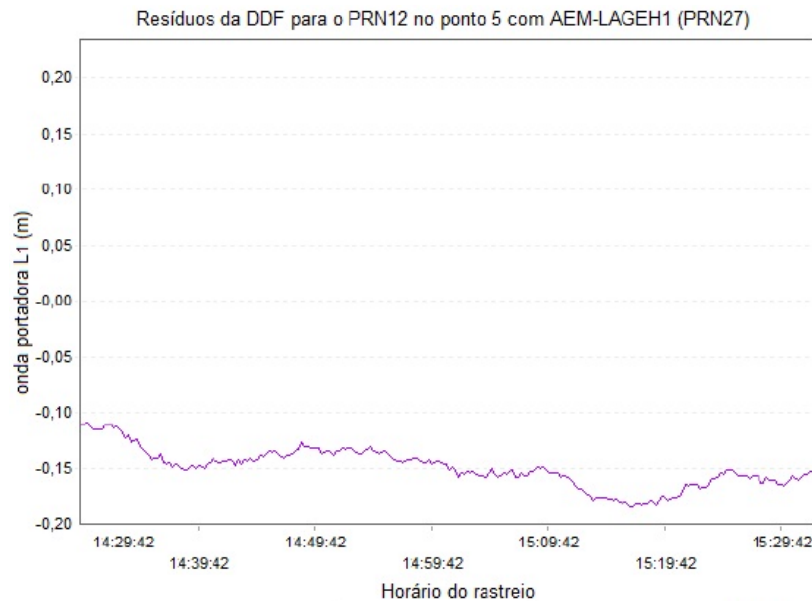


FIGURA 55 – RESÍDUOS DA DDF (PRN12), NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 5 COM AEM-LAGEH
 FONTE: A autora (2012)

Observa-se que, nos dias em que não foi acoplado o material atenuador, portanto, as observações GPS utilizadas para a determinação das coordenadas geodésicas dos pontos, o menor efeito de multicaminho, ocorreu no ponto 5, nas portadoras L_1 e L_2 os valores foram respectivamente de 0,1499 m e 0,1652 m.

Visualizam-se nas figuras (FIGURA 56 e FIGURA 57) os satélites disponíveis e a situação (elevação e azimute) de cada satélite rastreado nos dias GPS 68 e 69. Observa-se que, parte da órbita de alguns satélites está abaixo da máscara de elevação de 15° (círculo em cinza escuro). As observações obtidas neste intervalo de tempo em que a órbita, dos satélites, está abaixo daquela elevação não foram consideradas nos processamentos. Assim, visto que, outros satélites não ultrapassaram a elevação de 15° , automaticamente, os mesmos foram excluídos nos processamentos.

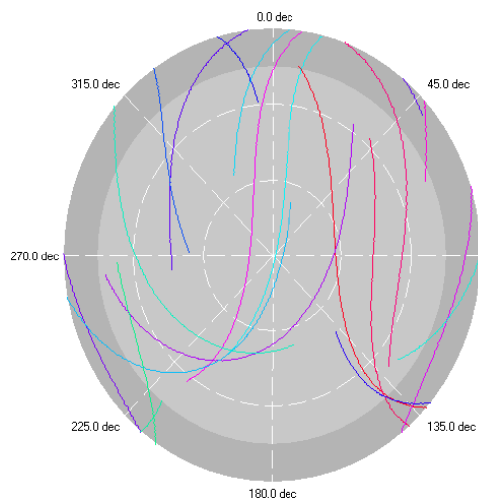


FIGURA 56 – CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 68
FONTE: A autora (2012)

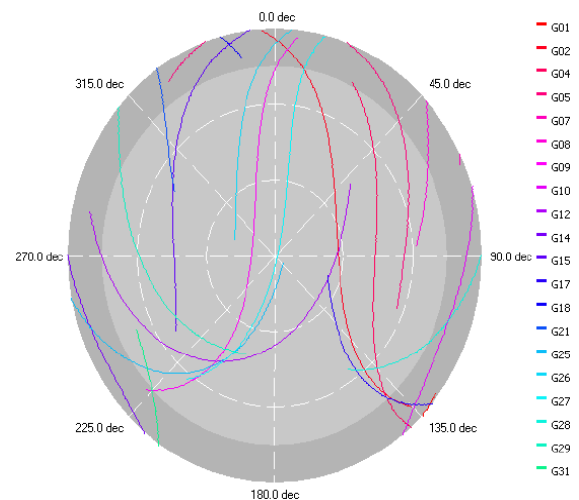


FIGURA 57 – CONSTELAÇÃO GPS PARA O RASTREIO DO DIA GPS 69
FONTE: A autora (2012)

Os diagramas de obstruções (FIGURA 58, FIGURA 59 e FIGURA 60), apresentam as obstruções ao entorno dos pontos 7, 8 e 9. Observa-se que o ponto 9 detêm as obstruções com maior elevação. Este fato pode contribuir em um maior erro advindo do efeito de multicaminho. As quantidades de obstáculos dos pontos 7 e 8 são semelhantes, no entanto o ponto 7 contava com mais obstruções por antenas e postes de iluminação, em contrapartida o ponto 8 tinha ao seu entorno mais obstáculos móveis, e.g. carros e caminhões.

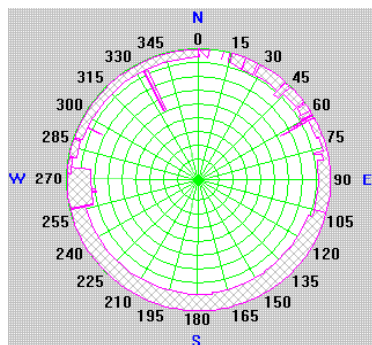


FIGURA 58 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 7
FONTE: A autora (2012)

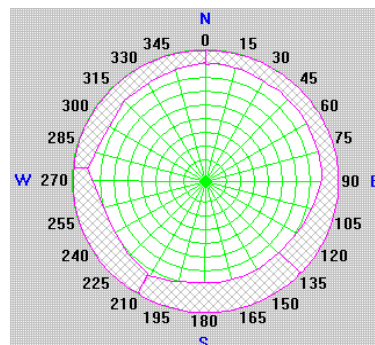


FIGURA 59 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 8
FONTE: A autora (2012)

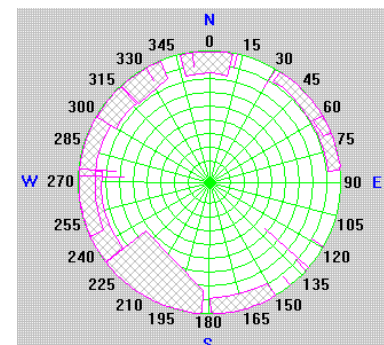


FIGURA 60 – DIAGRAMA DE OBSTRUÇÕES DO PONTO 9
FONTE: A autora (2012)

A TABELA 6 apresenta os resultados obtidos para os pontos distantes da BCAL/UFPR em até 105 km, denominados de 7, 8 e 9.

TABELA 6 – EFEITO DE MULTICAMINHO PARA OS PONTOS DE 105 km

Dia GPS	Ponto	Equipamento utilizado	Material isolante	Condição do material	Máscara de elevação de 15°	
					MP ₁ (m)	MP ₂ (m)
69	7	C	-----	-----	0,2793	0,3261
68			AEM-LAGEH	Seco	0,1701	0,2323
69	8	LAIG	-----	-----	0,2448	0,3250
68			AEM-LAGEH1	Molhado	0,2637	0,4165
69	9	A	-----	-----	0,2663	0,3301
68			AEM-LAGEH2	Seco	0,2533	0,3184

FONTE: A autora (2012)

Nesta tabela, é possível observar que o pior resultado advém do emprego do material atenuador no ponto 8. Isto ocorreu em face de que o material isolante estava molhado. Observa-se que, nos dias em que não foi acoplado o material atenuador o menor efeito de multicaminho, considerando a média entre MP₁ e MP₂, ocorreu para o ponto 8 e foi igual a 0,2849 m. Nota-se que a diferença máxima, na onda portadora L₁, entre com e sem AEM, aconteceu no ponto 7.

Lembra-se que os levantamentos, dos dias GPS 44, 48 e 69, utilizados para os processamentos e obtenção das coordenadas geodésicas dos pontos de 1 à 9, não foram realizados com a adição dos materiais atenuadores. Considerando somente os dias GPS citados, o menor multicaminho ocorreu no ponto 5. Neste ponto onde foi instalado o conjunto receptor/antena A, os valores de multicaminho, nas portadoras L₁ e L₂ foram, respectivamente, de 0,1499 m e 0,1653 m. Salienta-se que, este ponto contava com diversas obstruções, no entanto, ao seu entorno ocorreu de forma moderada o aparecimento de obstáculos móveis, e. g. carros, caminhões, que causam mais reflexões devido ao tipo de material que estes são construídos.

Diante dos resultados relata-se que, os materiais atenuadores de efeito de multicaminho (AEM-LAGE e AEM-LAGEH2), se mostraram eficientes, quando secos. Contudo, salienta-se que, os materiais aqui empregados não haviam sido submetidos a testes em condições de precipitações pluviométricas. Entretanto, deve-se relatar que, o LAGEH já desenvolveu uma nova versão deste material que apresentou resultados positivos quando submetido à chuva. Outro fator que contribuiu para a ineficiência dos materiais atenuadores foi o suporte acoplado sob eles. Este suporte, não foi capaz de manter o material na posição adequada, ou seja, junto à antena. Verificou-se que os materiais ficaram curvados para baixo,

deixando a antena exposta aos efeitos de multicaminho reduzindo sua eficácia. Desta forma, um novo suporte (DRA – Dispositivo Regulador de Ângulo) já foi desenvolvido pelo LAGEH, o qual quando empregado sob o AEM-LAGEH, possibilitou a melhora na atenuação do efeito de multicaminho.

4.3 PANORAMA DOS PROCESSAMENTOS

Seguindo a metodologia descrita na seção 3.5 os processamentos foram realizados com diferentes parâmetros de calibração, assim como, sem os mesmos.

Após o processamento verificou-se que o ponto 8 permaneceu com resíduos, da Dupla Diferença de Fase, com máximos de -1,45 m, na onda portadora L_1 . Assim, foi realizado um novo processamento onde foram excluídos 4 satélites GPS, e desta forma, obteve-se resíduos máximos, da DDF, na onda portadora L_1 , de aproximadamente 55 cm.

A TABELA 7 apresenta um resumo com as principais informações dos processamentos dos pontos de 1 a 9.

TABELA 7 – INFORMAÇÕES DOS PROCESSAMENTOS

Ponto	Linha de base (km)	Número de satélites GPS	Número de satélites excluídos	GDOP		Solução da ambiguidade	Combinação linear
				Mínimo	Máximo		
1	9,9	15	----	2,3	5,2	Fixa	L_1+L_2
2	9,8	15	----	2,3	5,2	Fixa	L_1+L_2
3	8,7	14	----	2,3	5,2	Fixa	L_1+L_2
4	46,9	15	----	2,3	9,9	Flutuante	L_3
5	47,0	13	----	2,3	9,8	Flutuante	L_3
6	47,2	15	----	2,5	9,8	Flutuante	L_3
4	46,9	15	----	2,3	5,4	Fixa	L_1+L_2
5	47,9	15	----	2,3	4,8	Fixa	L_1+L_2
6	47,2	15	----	2,3	4,8	Fixa	L_1+L_2
7	110,2	16	----	1,9	7,6	Flutuante	L_3
8	98,6	11	4	2,2	9,9	Flutuante	L_3
8	98,6	15	----	2,0	4,5	Flutuante	L_3
9	102,1	16	----	1,9	7,8	Flutuante	L_3

FONTE: A autora (2012)

Percebe-se que para todos os pontos observados conseguiu-se uma solução fixa ou flutuante para as ambiguidades. Para as linhas de base curtas e médias (<9 km e <45 km) a combinação linear empregada foi L_1+L_2 e que para as outras linhas de base e, novamente, para as linhas de base médias, foi empregada a combinação linear L_3 . Na TABELA 7 verifica-se que o GDOP mínimo é igual a 1,9, para os pontos 7 e 9, os quais contaram com a presença de 16 satélites GPS durante o levantamento. Os valores máximos de GDOP (entre 9,8 e 9,9) foram obtidos nos pontos 4, 5, 6 e 8, este último com 11 satélites GPS. É importante ressaltar que este parâmetro indica a distribuição dos satélites, visto que, ele está relacionado com o inverso do volume de um tetraedro formado entre o ponto de recepção do sinal GPS e pelo menos 4 satélites. Desta forma, um melhor GDOP implica em um GDOP mínimo.

4.4 COORDENADAS GEODÉSICAS OBTIDAS COM DIFERENTES PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO

Após o processamento dos dados GPS, foi verificado que os pré-requisitos (seção 3.3) foram atendidos. Desta forma, de acordo com a metodologia descrita na seção 3.5, determinou-se as coordenadas geodésicas para os nove pontos ocupados, aplicando-se diferentes valores de calibração de antenas.

Diante de trabalhos publicados (HUINCA, 2009; HUINCA e KRUEGER, 2011), os quais comprovam a correta determinação dos parâmetros na BCAL/UFPR, eles foram tomados como referência visando a determinação das coordenadas geodésicas precisas dos pontos.

Foram determinadas as coordenadas geodésicas, referenciadas ao SIRGAS2000, dos pontos, sem parâmetros de calibração, com parâmetros do NGS relativos, com parâmetros do NGS absolutos e com parâmetros da BCAL/UFPR. Calcularam-se ainda as diferenças das altitudes elipsoidais entre sem parâmetros e a BCAL/UFPR; entre o NGS relativo e a BCAL/UFPR e entre o NGS absoluto e a BCAL/UFPR.

A TABELA 8 mostra as coordenadas geodésicas dos pontos que formam linhas de base curtas.

TABELA 8 – COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km)

Ponto	Parâmetros	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude elipsoidal (m)
1	Sem parâmetros	25° 22' 56,33241"	49° 09' 53,56928"	904,4513
	NGS relativo	25° 22' 56,33243"	49° 09' 53,56929"	904,3601
	NGS absoluto	25° 22' 56,33243"	49° 09' 53,56929"	904,3601
	BCAL/UFPR	25° 22' 56,33241"	49° 09' 53,56934"	904,3644
2	Sem parâmetros	25° 32' 01,78388"	49° 12' 16,22579"	903,5725
	NGS relativo	25° 32' 01,78388"	49° 12' 16,22579"	903,5095
	NGS absoluto	25° 32' 01,78388"	49° 12' 16,22579"	903,5096
	BCAL/UFPR	25° 32' 01,78389"	49° 12' 16,22578"	903,5093
3	Sem parâmetros	25° 25' 47,78601"	49° 18' 57,26232"	900,3961
	NGS relativo	25° 25' 47,78599"	49° 18' 57,26231"	900,3384
	NGS absoluto	25° 25' 47,78599"	49° 18' 57,26232"	900,3385
	BCAL/UFPR	25° 25' 47,78600"	49° 18' 57,26230"	900,3387

FONTE: A autora (2012)

Observa-se que as altitudes elipsoidais obtidas para os três pontos não diferem mais do que 4 m. Nota-se que, nas latitudes e longitudes, diferenças significativas ocorrem somente para o ponto 1, onde encontraram-se valores de 1,68 mm na longitude, sem a aplicação de parâmetros de calibração.

Foram obtidos os desvios-padrão das coordenadas geodésicas destes pontos com o emprego dos diferentes parâmetros de calibração. Na TABELA 9 percebe-se que os valores são da ordem do milímetro.

TABELA 9 – DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km)

Ponto	Parâmetros	σ (m)		
		Latitude (m)	Longitude (m)	Altitude elipsoidal (m)
1	Sem parâmetros	0,00133	0,00139	0,00143
	NGS relativo	0,00133	0,00139	0,00143
	NGS absoluto	0,00133	0,00139	0,00143
	BCAL/UFPR	0,00133	0,00139	0,00143
2	Sem parâmetros	0,00133	0,00139	0,00143
	NGS relativo	0,00133	0,00139	0,00143
	NGS absoluto	0,00133	0,00139	0,00143
	BCAL/UFPR	0,00133	0,00139	0,00143
3	Sem parâmetros	0,00133	0,00139	0,00143
	NGS relativo	0,00133	0,00139	0,00143
	NGS absoluto	0,00133	0,00139	0,00143
	BCAL/UFPR	0,00133	0,00139	0,00143

FONTE: A autora (2012)

Nota-se que, para estes pontos, independente dos parâmetros adotados não houve diferença nos desvios-padrão das coordenadas geodésicas.

As altitudes elipsoidais obtidas para os pontos 1, 2 e 3, bem como as diferenças entre os valores obtidos em relação aos da BCAL/UFPR, são apresentadas na TABELA 10.

Nota-se que as diferenças estão na ordem do centímetro e milímetro. Para os pontos distantes da BCAL/UFPR em até 9 km obteve-se uma diferença média de 6,92 cm, quando não foi realizada a inserção de qualquer PCO-PCV. Nota-se que, para o ponto 1, não houve diferença entre a utilização dos parâmetros do NGS absoluto e relativo.

É possível verificar na FIGURA 61 as diferenças das altitudes elipsoidais obtidas para os pontos 1, 2 e 3. Nesta figura observa-se que a maior diferença é de 8,69 cm, onde não foi aplicado qualquer parâmetro de calibração. As menores diferenças ocorreram nos pontos 2 e 3. Quando realizada a aplicação do PCO-PCV do NGS relativo, no ponto 2, obteve-se uma diferença de 0,2 mm, e quando adotado os parâmetros do NGS absoluto, no ponto 3, calculou-se uma diferença de -0,2 mm.

TABELA 10 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS E DIFERENÇAS DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km)

Ponto	Parâmetros	Altitude elipsoidal (m)	Diferença (m) (Outros parâmetros - BCAL/UFPR)
1	Sem parâmetros	904,4513	0,0869
	NGS relativo	904,3601	-0,0043
	NGS absoluto	904,3601	-0,0043
	BCAL/UFPR	904,3644	-----
2	Sem parâmetros	903,5725	0,0632
	NGS relativo	903,5095	0,0002
	NGS absoluto	903,5096	0,0003
	BCAL/UFPR	903,5093	-----
3	Sem parâmetros	900,3961	0,0574
	NGS relativo	900,3384	-0,0003
	NGS absoluto	900,3385	-0,0002
	BCAL/UFPR	900,3387	-----

FONTE: A autora (2012)

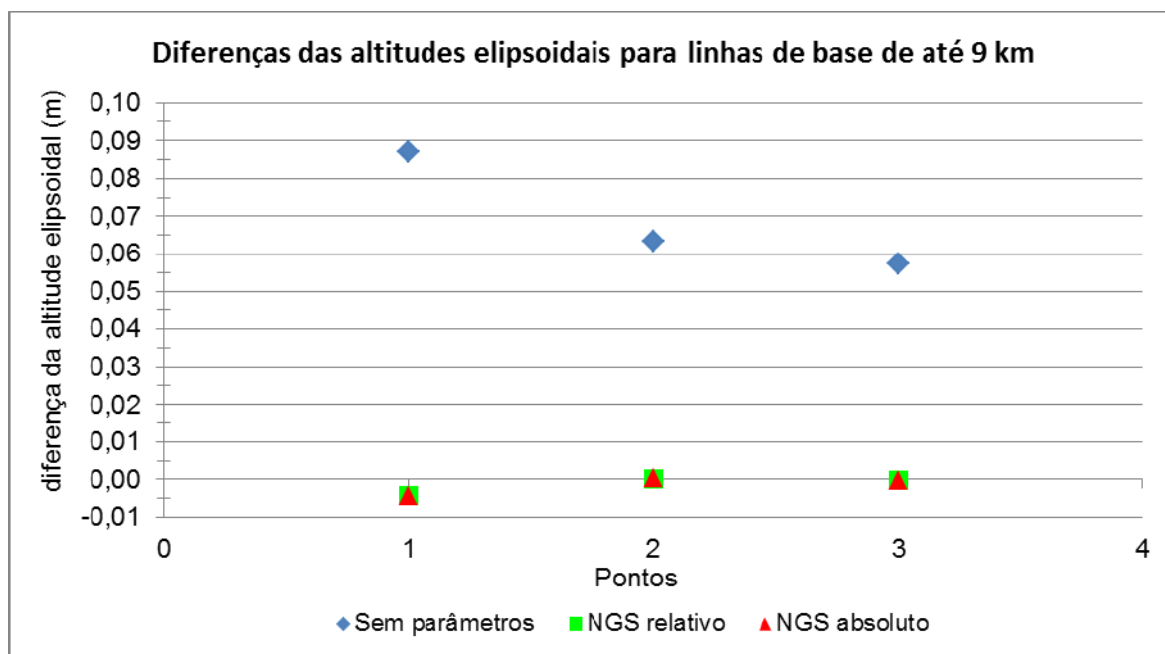


FIGURA 61 – DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km)
FONTE: A autora (2012)

Encontram-se, na TABELA 11, as coordenadas geodésicas obtidas, com a combinação linear L_3 , e com a inserção de diferentes parâmetros para os pontos que distam da BCAL/UFPR em até 45 km.

TABELA 11 – COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_3)

Ponto	Parâmetros	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude elipsoidal (m)
4	Sem parâmetros	25° 10' 35,61691"	48° 52' 27,62083"	817,5420
	NGS relativo	25° 10' 35,61699"	48° 52' 27,62108"	817,4618
	NGS absoluto	25° 10' 35,61699"	48° 52' 27,62108"	817,4614
	BCAL/UFPR	25° 10' 35,61708"	48° 52' 27,62017"	817,4300
5	Sem parâmetros	25° 51' 51,73065"	49° 21' 47,36836"	914,5697
	NGS relativo	25° 51' 51,73084"	49° 21' 47,36831"	914,5079
	NGS absoluto	25° 51' 51,73087"	49° 21' 47,36831"	914,5080
	BCAL/UFPR	25° 51' 51,73078"	49° 21' 47,36832"	914,5093
6	Sem parâmetros	25° 28' 21,14319"	49° 42' 00,55318"	1097,5839
	NGS relativo	25° 28' 21,14309"	49° 42' 00,55343"	1097,5224
	NGS absoluto	25° 28' 21,14314"	49° 42' 00,55341"	1097,5245
	BCAL/UFPR	25° 28' 21,14307"	49° 42' 00,55344"	1097,5264

FONTE: A autora (2012)

Verifica-se que, nas longitudes, a diferença máxima encontrada foi de 2,8 cm para o ponto 4. Esta diferença foi máxima, quando comparados os valores obtidos com os parâmetros do NGS e da BCAL/UFPR. Diante das adversidades

encontradas na escolha dos locais dos pontos, as altitudes, dos pontos 4, 5 e 6, se diferem em até 280 m aproximadamente.

Processando os pontos de linhas de base médias com a combinação linear L_1+L_2 , obtiveram-se as coordenadas geodésicas da TABELA 12.

TABELA 12 – COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_1+L_2)

Ponto	Parâmetros	Latitude (S)	Longitude (O)	Altitude elipsoidal (m)
4	Sem parâmetros	25° 10' 35,61918"	48° 52' 27,62391"	817,5284
	NGS relativo	25° 10' 35,61931"	48° 52' 27,62400"	817,4449
	NGS absoluto	25° 10' 35,61931"	48° 52' 27,62401"	817,4451
	BCAL/UFPR	25° 10' 35,61915"	48° 52' 27,62385"	817,4573
5	Sem parâmetros	25° 51' 51,72807"	49° 21' 47,36716"	914,5854
	NGS relativo	25° 51' 51,72809"	49° 21' 47,36716"	914,5223
	NGS absoluto	25° 51' 51,72810"	49° 21' 47,36716"	914,5225
	BCAL/UFPR	25° 51' 51,72810"	49° 21' 47,36715"	914,5230
6	Sem parâmetros	25° 28' 21,14272"	49° 42' 00,55002"	1097,5900
	NGS relativo	25° 28' 21,14272"	49° 42' 00,55015"	1097,5338
	NGS absoluto	25° 28' 21,14271"	49° 42' 00,55011"	1097,5338
	BCAL/UFPR	25° 28' 21,14280"	49° 42' 00,55026"	1097,5252

FONTE: A autora (2012)

Quando comparados as latitudes e longitudes, obtidas com a combinação linear L_1+L_2 , com as advindas da aplicação da combinação linear L_3 , verificaram-se que as diferenças foram menores quando empregada a combinação linear L_1+L_2 . Com esta combinação linear, para o ponto 4, a diferença máxima encontrada foi de 4,9 mm.

Na TABELA 13 observam-se os desvios-padrão calculados, com a aplicação da combinação linear L_3 , para os pontos distantes da BCAL/UFPR em até 45 km.

Constata-se que para o ponto 5, os desvios-padrão da latitude, longitude e altitude elipsoidal foram respectivamente de 1,36 mm, 1,53 mm e 1,58 mm, com a inserção de qualquer um dos parâmetros de calibração utilizados. Houve uma diferença média, nos desvios-padrão das coordenadas geodésicas, do ponto 4, quando aplicados os PCO-PCV da BCAL/UFPR, de 0,197 mm. Para o ponto 6, ocorreu similaridade nos desvios-padrão, quando inseridos os parâmetros da BCAL/UFPR e do NGS relativo, assim como houve semelhança entre os resultados quando da aplicação dos PCO-PCV do NGS absoluto e sem parâmetros.

TABELA 13 – DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_3)

Ponto	Parâmetros	σ (m)		
		Latitude (m)	Longitude (m)	Altitude elipsoidal (m)
4	Sem parâmetros	0,00170	0,00239	0,00264
	NGS relativo	0,00170	0,00239	0,00264
	NGS absoluto	0,00170	0,00239	0,00264
	BCAL/UFPR	0,00177	0,00264	0,00291
5	Sem parâmetros	0,00136	0,00153	0,00158
	NGS relativo	0,00136	0,00153	0,00158
	NGS absoluto	0,00136	0,00153	0,00158
	BCAL/UFPR	0,00136	0,00153	0,00158
6	Sem parâmetros	0,00139	0,00158	0,00164
	NGS relativo	0,00143	0,00177	0,00184
	NGS absoluto	0,00139	0,00158	0,00164
	BCAL/UFPR	0,00143	0,00177	0,00184

FONTE: A autora (2012)

Verifica-se na TABELA 14 os desvios-padrão calculados, quando empregada a combinação linear L_1+L_2 , para as coordenadas geodésicas dos pontos 4, 5 e 6.

TABELA 14 – DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 4,5 E 6 (45 km) (L_1+L_2)

Ponto	Parâmetros	σ (m)		
		Latitude (m)	Longitude (m)	Altitude elipsoidal (m)
4	Sem parâmetros	0,00148	0,00184	0,00191
	NGS relativo	0,00148	0,00177	0,00191
	NGS absoluto	0,00148	0,00177	0,00191
	BCAL/UFPR	0,00153	0,00191	0,00206
5	Sem parâmetros	0,00148	0,00177	0,00184
	NGS relativo	0,00148	0,00177	0,00184
	NGS absoluto	0,00148	0,00177	0,00184
	BCAL/UFPR	0,00148	0,00177	0,00184
6	Sem parâmetros	0,00148	0,00184	0,00191
	NGS relativo	0,00148	0,00184	0,00191
	NGS absoluto	0,00148	0,00184	0,00191
	BCAL/UFPR	0,00143	0,00177	0,00191

FONTE: A autora (2012)

Nota-se que, com a aplicação da combinação linear L_1+L_2 , os desvios-padrão calculados, para o ponto 5 foram maiores do que quando aplicada a combinação linear L_3 . A diferença dos desvios-padrão da latitude, longitude e altitude

elipsoidal, quando do emprego das diferentes combinações lineares, foi respectivamente de 0,12 mm, 0,24 mm e 0,26 mm. Para o ponto 4, quando utilizada a combinação linear L_1+L_2 , os desvios-padrão foram menores que com a inserção da combinação linear L_3 .

Na TABELA 15 são apresentadas as altitudes elipsoidais obtidas para os pontos 4, 5 e 6, assim como as diferenças calculadas entre as altitudes elipsoidais obtidas, quando se fez o uso da combinação linear L_3 .

TABELA 15 – ALTITUDES ELIPSOIDAIAS E DIFERENÇAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_3)

Ponto	Parâmetros	Altitude elipsoidal (m)	Diferença (m) (Outros parâmetros - BCAL/UFPR)
4	Sem parâmetros	817,5420	0,1120
	NGS relativo	817,4618	0,0318
	NGS absoluto	817,4614	0,0314
	BCAL/UFPR	817,4300	-----
5	Sem parâmetros	914,5697	0,0604
	NGS relativo	914,5079	-0,0014
	NGS absoluto	914,5080	-0,0013
	BCAL/UFPR	914,5093	-----
6	Sem parâmetros	1097,5840	0,0575
	NGS relativo	1097,5220	-0,0040
	NGS absoluto	1097,5250	-0,0019
	BCAL/UFPR	1097,5260	-----

FONTE: A autora (2012)

Verifica-se que as diferenças estão na ordem do centímetro e milímetro. Para os pontos distantes da BCAL/UFPR em até 45 km obteve-se uma diferença média de 7,66 cm, quando não foi realizada a inserção de qualquer PCO-PCV. Contata-se que, para o ponto 5, as diferenças do NGS relativo e absoluto são inferiores à -1,3 mm.

As altitudes elipsoidais e suas diferenças, quando empregada a combinação linear L_1+L_2 , são apresentadas na TABELA 16.

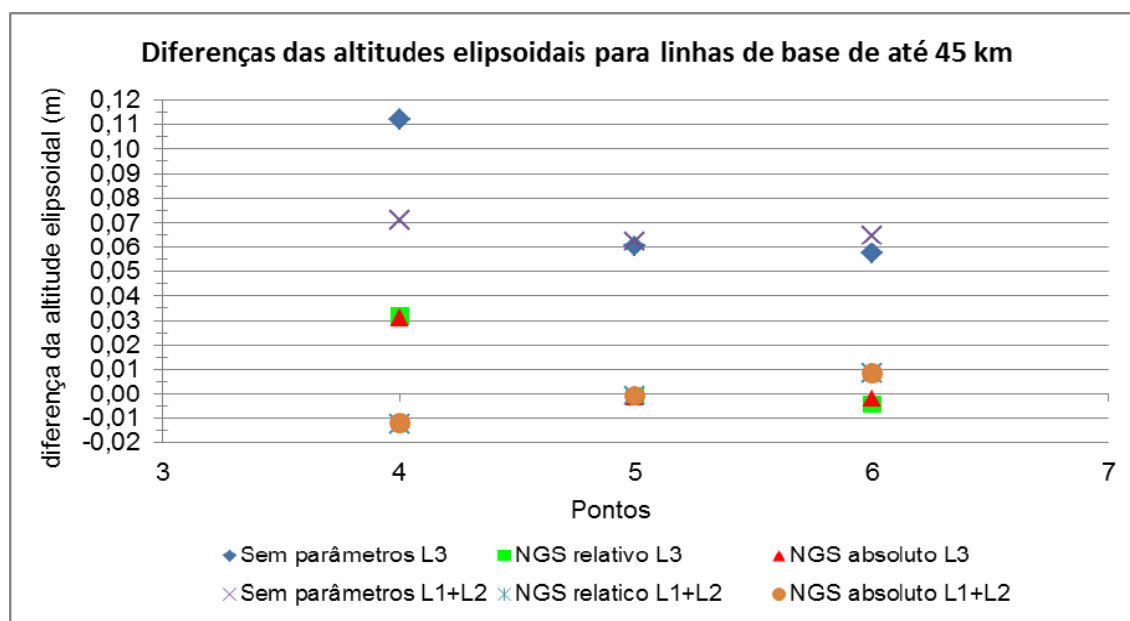
Quando comparados os resultados entre o emprego das diferentes combinações lineares (L_3 e L_1+L_2), verifica-se que houve diferenças, para sem parâmetros, que aumentaram (ponto 5 e 6) e que diminuíram (ponto 4). A diferença que se destaca das demais é a do ponto 4, sem parâmetros. A diferença que antes (L_3) era de 11,2 cm, agora (L_1+L_2) foi de 7,11 cm.

TABELA 16 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS E DIFERENÇAS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km) (L_1+L_2)

Ponto	Parâmetros	Altitude elipsoidal (m)	Diferença (m) (Outros parâmetros - BCAL/UFPR)
4	Sem parâmetros	817,5284	0,0711
	NGS relativo	817,4449	-0,0124
	NGS absoluto	817,4451	-0,0122
	BCAL/UFPR	817,4573	-----
5	Sem parâmetros	914,5854	0,0624
	NGS relativo	914,5223	-0,0007
	NGS absoluto	914,5225	-0,0005
	BCAL/UFPR	914,5230	-----
6	Sem parâmetros	1097,590	0,0648
	NGS relativo	1097,534	0,0086
	NGS absoluto	1097,534	0,0086
	BCAL/UFPR	1097,525	-----

FONTE: A autora (2012)

Na FIGURA 62 verificam-se as diferenças das altitudes elipsoidais obtidas para os pontos 4, 5 e 6, com o emprego das duas combinações lineares (L_3 e L_1+L_2), apresentadas na TABELA 15 e TABELA 16. Visualiza-se que, o ponto 4 tem suas diferenças, de sem parâmetros e NGS relativo e absoluto, com a combinação linear (L_3), destacadas das demais. Nos pontos 5 e 6 o comportamento das diferenças das altitudes elipsoidais é semelhante, quando empregada a combinação linear L_3 e L_1+L_2 .

FIGURA 62 – DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km)
FONTE: A autora (2012)

As coordenadas geodésicas, com os diferentes parâmetros utilizados, para os pontos 7, 8 e 9 encontram-se na TABELA 17.

TABELA 17 – COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km)

Ponto	Número de satélites GPS	Parâmetros	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude elipsoidal (m)
7	16	Sem parâmetros	24° 56' 13,05366"	48° 17' 36,34605"	678,6005
		NGS relativo	24° 56' 13,05359"	48° 17' 36,34631"	678,5407
		NGS absoluto	24° 56' 13,05362"	48° 17' 36,34627"	678,5416
		BCAL/UFPR	24° 56' 13,05355"	48° 17' 36,34630"	678,5426
8	15	Sem parâmetros	26° 09' 10,78342"	49° 49' 57,83749"	807,4647
		NGS relativo	26° 09' 10,78354"	49° 49' 57,83776"	807,3830
		NGS absoluto	26° 09' 10,78354"	49° 49' 57,83777"	807,3829
		BCAL/UFPR	26° 09' 10,78353"	49° 49' 57,83738"	807,3713
8	11	Sem parâmetros	26° 09' 10,78311"	49° 49' 57,83735"	807,5660
		NGS relativo	26° 09' 10,78302"	49° 49' 57,83778"	807,4800
		NGS absoluto	26° 09' 10,78302"	49° 49' 57,83778"	807,4795
		BCAL/UFPR	26° 09' 10,78329"	49° 49' 57,83735"	807,4807
9	16	Sem parâmetros	25° 07' 31,82979"	50° 10' 50,94104"	806,5812
		NGS relativo	25° 07' 31,83045"	50° 10' 50,94122"	806,5169
		NGS absoluto	25° 07' 31,83000"	50° 10' 50,94098"	806,5189
		BCAL/UFPR	25° 07' 31,83034"	50° 10' 50,94106"	806,5254

FONTE: A autora (2012)

Constata-se que há variações nas coordenadas geodésicas, no entanto, para as latitudes e longitudes as diferenças são da ordem do milímetro. Ressalta-se que as diferenças para as altitudes elipsoidais variam de milímetros à centímetros.

Visto que, houve limitações quanto à escolha dos locais dos pontos distantes da BCAL/UFPR em até 105 km, as altitudes elipsoidais obtidas diferem entre si de aproximadamente 129 m.

Os desvios-padrão advindos dos processamentos dos dados GPS, para os pontos distantes da BCAL/UFPR em até 105 km, constam na TABELA 18.

TABELA 18 – DESVIOS-PADRÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km)

Ponto	Número de satélites GPS	Parâmetros	σ (m)		
			Latitude (m)	Longitude (m)	Altitude elipsoidal (m)
7	16	Sem parâmetros	0,00158	0,00239	0,00256
		NGS relativo	0,00158	0,00239	0,00256
		NGS absoluto	0,00158	0,00239	0,00256
		BCAL/UFPR	0,00158	0,00239	0,00256
8	15	Sem parâmetros	0,00247	0,00468	0,00507
		NGS relativo	0,00247	0,00468	0,00517
		NGS absoluto	0,00247	0,00468	0,00517
		BCAL/UFPR	0,00247	0,00459	0,00507
8	11	Sem parâmetros	0,00206	0,00158	0,00222
		NGS relativo	0,00198	0,00158	0,00222
		NGS absoluto	0,00198	0,00158	0,00222
		BCAL/UFPR	0,00206	0,00158	0,00222
9	16	Sem parâmetros	0,00158	0,00214	0,00239
		NGS relativo	0,00158	0,00214	0,00230
		NGS absoluto	0,00158	0,00214	0,00230
		BCAL/UFPR	0,00153	0,00206	0,00222

FONTE: A autora (2012)

Relata-se que, para o ponto 7, não houve qualquer mudança dos valores de desvios-padrão, quando realizada a inserção de diferentes valores de PCO-PCV. Observa-se que, quando foram utilizados somente 11 satélites GPS, para o ponto 8, todos os desvios-padrão foram menores.

As diferenças calculadas e as altitudes elipsoidais para os pontos 7, 8 e 9 constam na TABELA 19.

TABELA 19 – ALTITUDES ELIPSOIDAIS E DIFERENÇAS DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km)

Ponto	Número de satélites GPS	Parâmetros	Altitude elipsoidal (m)	Diferença (m) (Outros parâmetros - BCAL/UFPR)
7	16	Sem parâmetros	678,6005	0,0579
		NGS relativo	678,5407	-0,0019
		NGS absoluto	678,5416	-0,0010
		BCAL/UFPR	678,5426	-----
8	15	Sem parâmetros	807,4647	0,0934
		NGS relativo	807,3830	0,0117
		NGS absoluto	807,3829	0,0116
		BCAL/UFPR	807,3713	-----
8	11	Sem parâmetros	807,5660	0,0853
		NGS relativo	807,4800	-0,0007
		NGS absoluto	807,4795	-0,0012
		BCAL/UFPR	807,4807	-----
9	16	Sem parâmetros	806,5812	0,0558
		NGS relativo	806,5169	-0,0085
		NGS absoluto	806,5189	-0,0065
		BCAL/UFPR	806,5254	-----

FONTE: A autora (2012)

Sem a aplicação de qualquer parâmetro de calibração de antenas GPS, obteve-se uma diferença média de 7,31 cm. Observa-se que, quando utilizado as observações dos 15 satélites disponíveis, para o ponto 8, este ponto obteve diferenças de 11,7 cm e 11,6 cm, com a inserção dos parâmetros do NGS relativo e absoluto, respectivamente. Neste mesmo ponto quando o processamento foi realizado com 11 satélites GPS, houve diferenças menores, com os valores do NGS relativo de -0,7 mm e após a aplicação dos parâmetros do NGS absoluto a diferença foi de -1,2 mm.

As diferenças das altitudes elipsoidais obtidas para os pontos distantes da BCAL/UFPR em até 105 km podem ser visualizadas na FIGURA 63. Nota-se que, assim como nos pontos anteriores, as maiores diferenças encontram-se quando não foram utilizados os valores de PCO-PCV. Observa-se que, ambas as diferenças do ponto 8 se destacam dos demais.

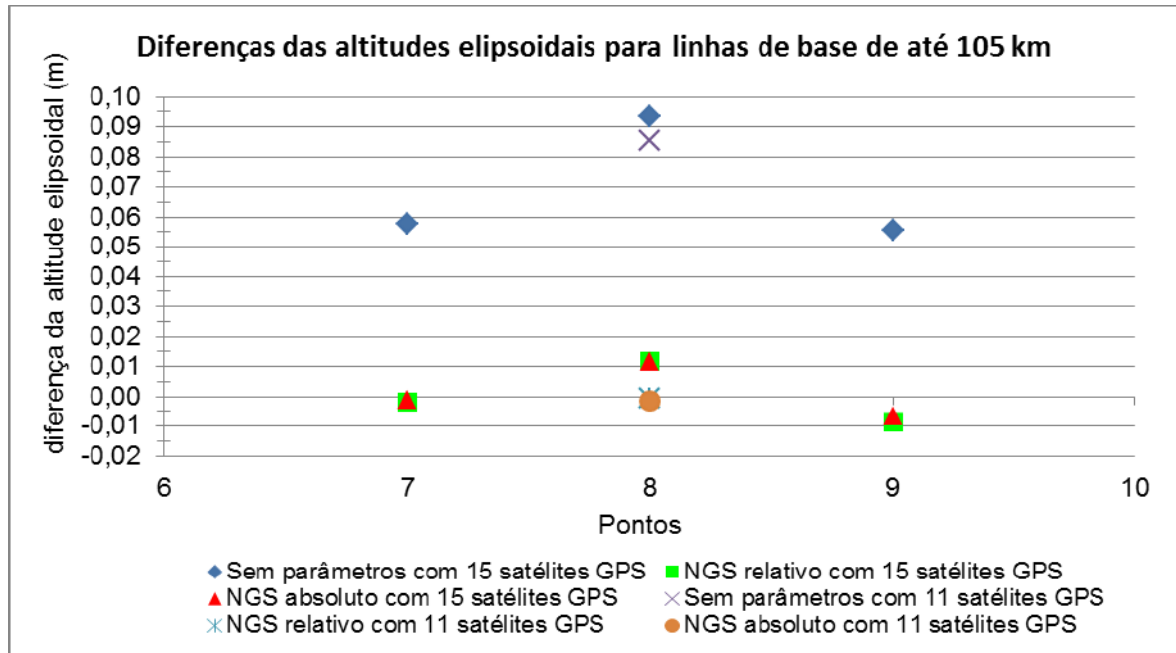


FIGURA 63 – DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km)
 FONTE: A autora (2012)

A fim de selecionar os melhores resultados para cada um dos pontos e de analisar os pontos que obtiveram as diferenças das altitudes elipsoidais, sem parâmetros, destacadas das demais, foram verificados alguns resíduos remanescentes das Duplas Diferenças de Fase.

Os pontos de linhas de base curtas (1, 2 e 3) foram determinados utilizando somente a combinação linear $L_1 + L_2$. No entanto, cabe destacar a diferença na altitude elipsoidal encontrada, quando não se empregou os parâmetros de calibração, para o ponto 1 (FIGURA 61). Visualizam-se (FIGURA 64) as médias dos resíduos das DD, na portadora L_2 , para cada satélite observado, dos levantamentos nos pontos 1, 2 e 3, sem a inserção de parâmetros.

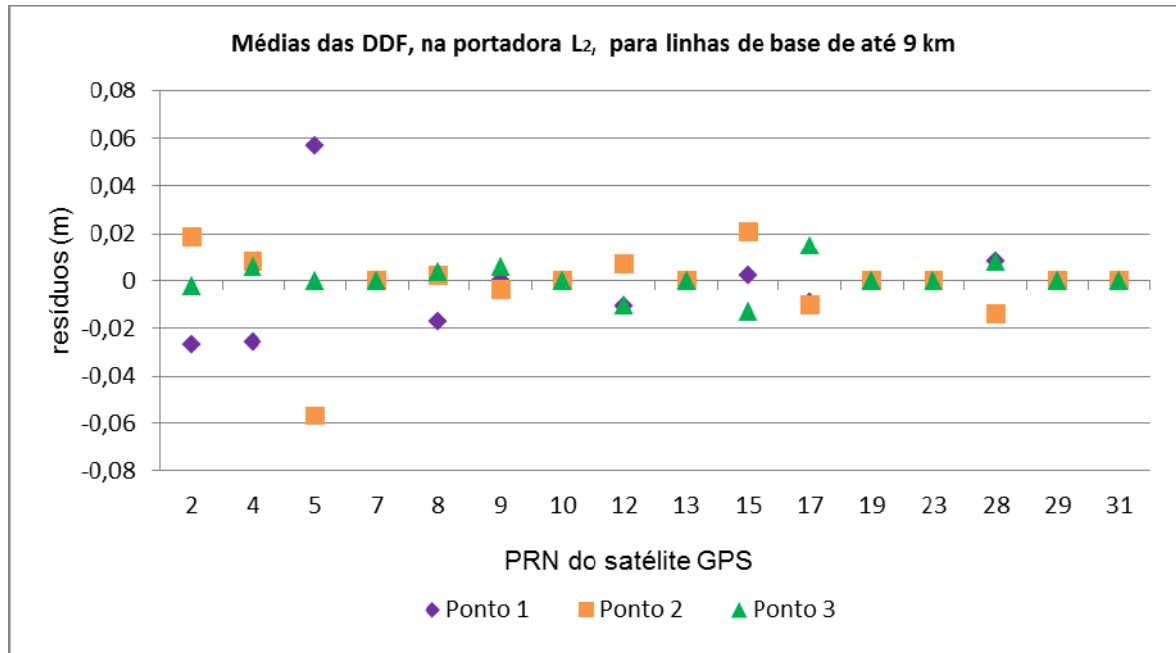


FIGURA 64 – MÉDIAS DAS DDF, NA PORTADORA L₂, PARA OS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km)
 FONTE: A autora (2012)

Observa-se que as médias dos resíduos das DDF, na portadora L₂, que se destacam para o ponto 1 são dos PRNs 2, 4, 5, 8 e 15. Entretanto, para os PRNs 2, 5 e 15, as médias dos resíduos das DDF, para o ponto 2 e 3, também são destacadas. O resíduo obtido para o PRN15, no ponto 1, difere dos demais pontos de forma positiva, pois a média do seu resíduo na onda portadora L₂ foi de aproximadamente 3 mm. O PRN8 apresenta resíduos baixos (média de 7 mm) para os pontos 2 e 3, e se destaca negativamente no ponto 1, por apresentar um resíduo maior (média de 17 mm).

Nas figuras FIGURA 65, FIGURA 66 e FIGURA 67 apresentam-se detalhes dos resíduos das DDF na onda portadora L₂, para o PRN8, nos levantamentos dos pontos 1, 2 e 3, sem a aplicação de parâmetros de calibração. Nota-se que os resíduos foram calculados entre o satélite de referência (PRN27) e o PRN8 observado durante o período de levantamento nos pontos. Verifica-se que nos resíduos do ponto 2 e 3 tem-se regularidade (os valores oscilam entre 0,03 m e -0,03 m) e seus valores máximos não ultrapassam 3,7 cm, em contrapartida, para o ponto 1, os resíduos da DD iniciam em 0,05 m e chegam a -0,07 m, valores decrescentes, apresentando máximos de aproximadamente 7 cm. A diferença persiste nos desvios-padrão dos resíduos da DDF. Tem-se, para os pontos 1, 2 e 3 um desvio-padrão de 29,9 mm, 12,4 mm e 14,2 mm, respectivamente. Salienta-se

que o PRN8, durante as observações obtidas, manteve elevação baixa (de 38° à 15°), estando suas observações mais sujeitas ao efeito de multicaminho, fato este que aumenta os resíduos da DDF e acarreta em degradação das coordenadas geodésicas.

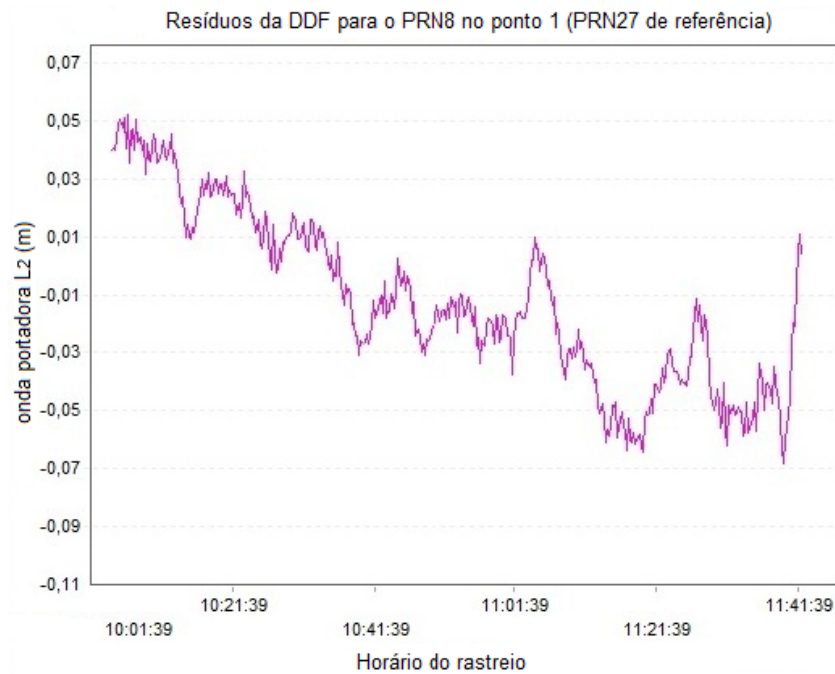


FIGURA 65 – RESÍDUOS DA DDF (PRN8), NA ONDA PORTADORA L_2 , PARA O PONTO 1 (9 km)
FONTE: A autora (2012)

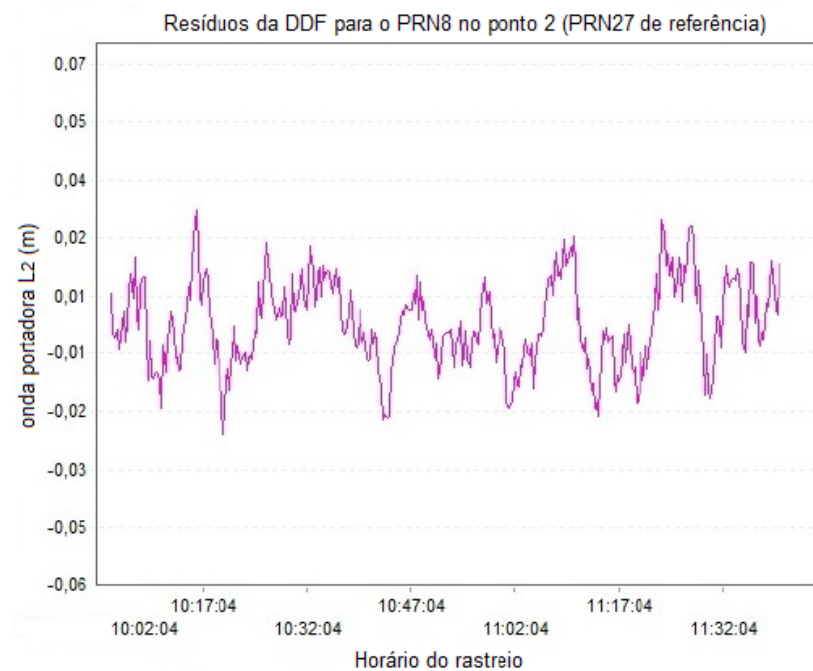


FIGURA 66 – RESÍDUOS DA DDF (PRN8), NA ONDA PORTADORA L_2 , PARA O PONTO 2 (9 km)
FONTE: A autora (2012)

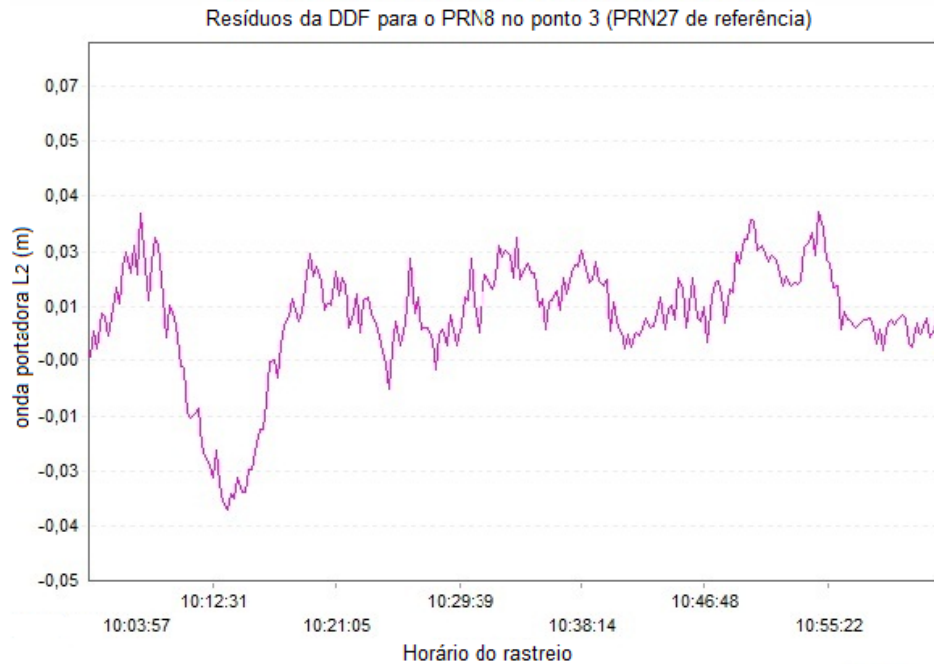


FIGURA 67 – RESÍDUOS DA DDF (PRN8), NA ONDA PORTADORA L_2 , PARA O PONTO 3 (9 km)
 FONTE: A autora (2012)

Com as observações do ponto 4 foram realizados processamentos com duas combinações lineares (L_1+L_2 e L_3). As médias das DDF dos satélites GPS, na onda portadora L_1 , para sem parâmetros, no ponto 4 podem ser visualizadas na FIGURA 68. Observa-se que as maiores diferenças encontram-se para os PRNs 8 e 29. Verifica-se também que, quando empregada a combinação linear L_1+L_2 , os resíduos da DD na portadora L_1 , advindos das observações dos PRNs 2 e 4, foram maiores que quando utilizada a combinação linear L_3 . Verifica-se que, quando foi empregada a combinação linear L_1+L_2 e a combinação linear L_3 , a média dos resíduos da DDF do PRN8 foi respectivamente de -3,4 cm e -20,4 cm.

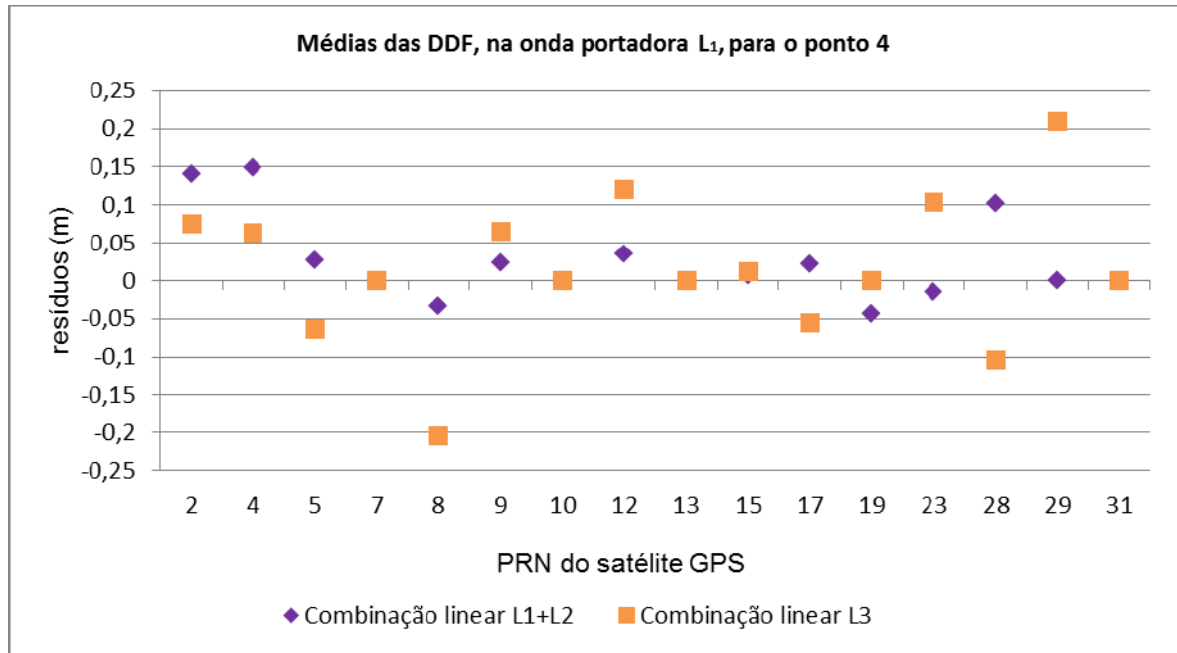


FIGURA 68 – MÉDIAS DAS DDF, NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 4 (45 km)
 FONTE: A autora (2012)

Nas FIGURA 69 e FIGURA 70, visualizam-se os resíduos das DDF, na onda portadora L_1 , do PRN8, citado anteriormente. Nota-se que os resíduos foram calculados entre o satélite de referência (PRN27) e o PRN8 observado durante o período de levantamento no ponto 4. Observa-se que, quando da aplicação da combinação linear L_1+L_2 os resíduos variam de -6 cm à -14 cm, enquanto que, com a outra combinação linear (L_3), a variação é de -11 cm à -27 cm. Salienta-se que para este ponto, a melhor solução resultou do emprego da combinação linear L_1+L_2 .

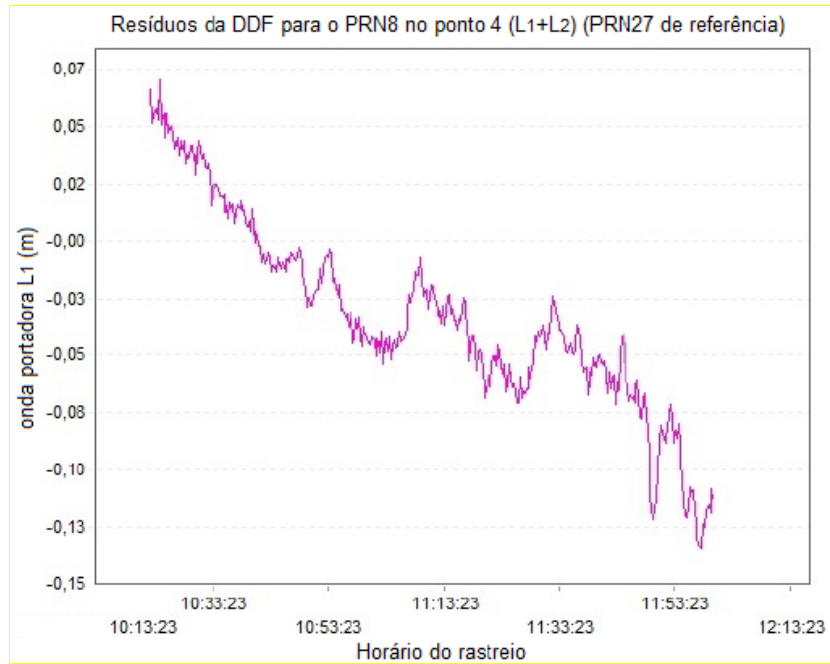


FIGURA 69 – RESÍDUOS DAS DDF (PRN8), NA ONDA PORTADORA L_1 , COM COMBINAÇÃO LINEAR L_1+L_2 PARA O PONTO 4 (45 km)
 FONTE: A autora (2012)

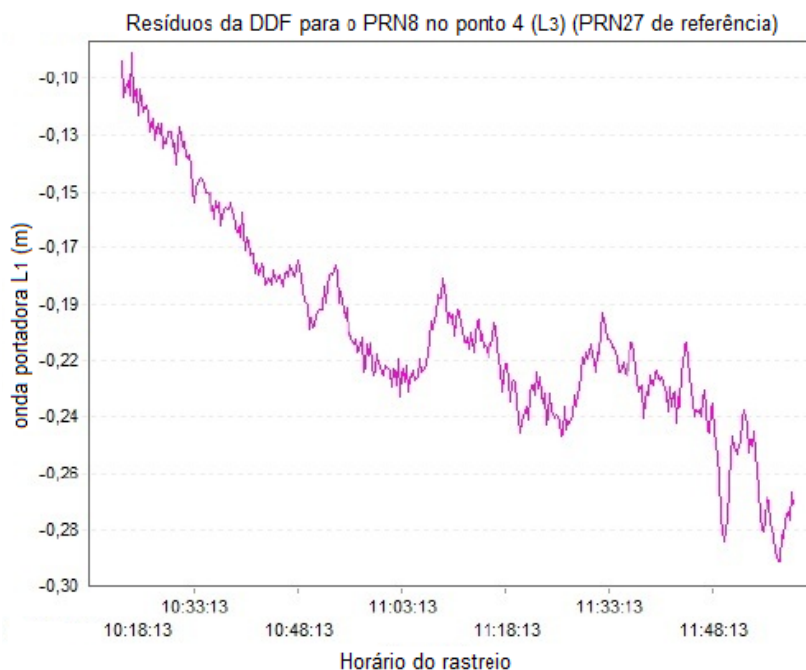


FIGURA 70 – RESÍDUOS DA DDF (PRN8), NA ONDA PORTADORA L_1 , COM COMBINAÇÃO LINEAR L_3 PARA O PONTO 4 (45 km)
 FONTE: A autora (2012)

Utilizando as observações GPS advindas do rastreamento, no dia GPS 69, no ponto 8, foram realizados dois processamentos. Inicialmente um processamento com todas as observações dos satélites disponíveis no levantamento, e um segundo processamento com a exclusão de alguns satélites GPS. Neste segundo

processamento foram eliminados 4 satélites GPS, que apresentaram resíduos da ordem de metros.

A FIGURA 71 ilustra as médias das DDF dos satélites, na onda portadora L_1 , para o ponto 8, processado com as observações de 15 e 11 satélites GPS, sem a inserção de parâmetros. Nota-se que, as maiores médias, quando utilizados 15 satélites GPS, ocorrem para os PRNs 4, 5, 25 e 29. Após a exclusão de 4 satélites (2, 4, 25 e 29), visualiza-se que as médias dos resíduos das DDF, na onda portadora L_1 , reduziram. Salienta-se que, o PRN2 foi excluído devido ao alto desvio-padrão (28 cm) dos resíduos da DDF. Observa-se a maior diferença das médias das DDF para o PRN5. Para este satélite obteve-se uma melhora, na média, de cerca de 6 cm.

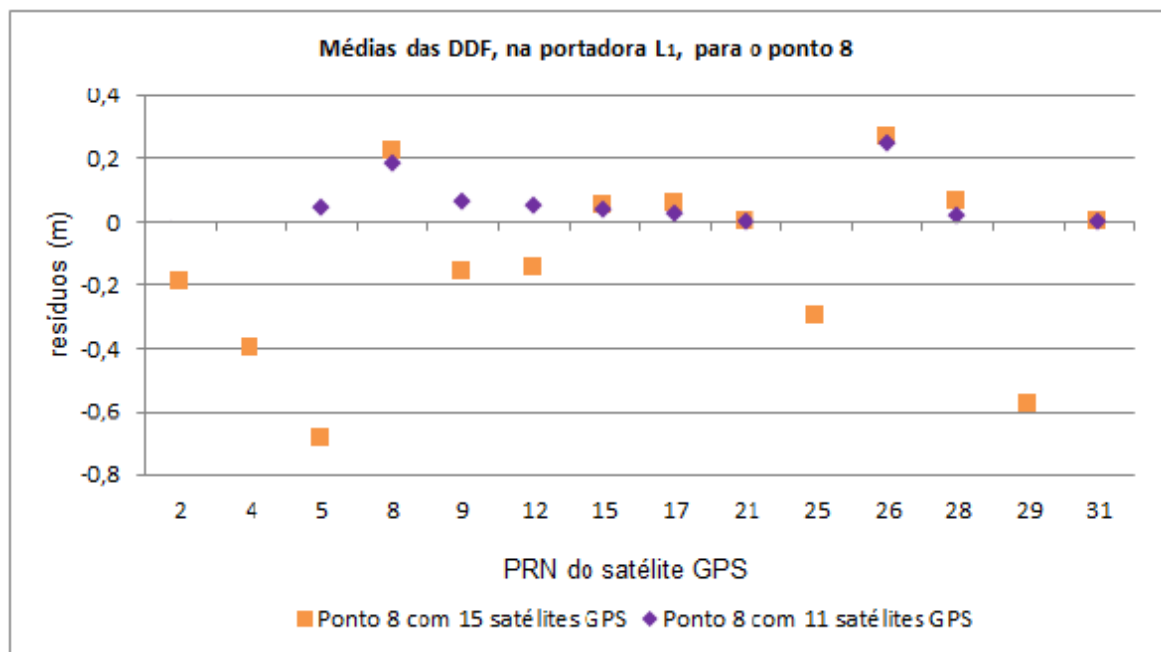


FIGURA 71 – MÉDIAS DAS DDF, NA PORTADORA L_1 , PARA O PONTO 8 (105 km)
FONTE: A autora (2012)

Nas FIGURA 72 e FIGURA 73 é possível visualizar os resíduos das DDF, na portadora L_1 , para os processamentos com 15 e 11 satélites GPS, respectivamente. Salienta-se que, os resíduos foram calculados entre o satélite de referência (PRN27) e os satélites observados durante o intervalo de rastreo no ponto 8. Atenta-se que, quando realizado o emprego das observações de 15 satélites GPS, os resíduos da DDF, na onda portadora L_1 , variaram entre 55 cm e -1,45 m, enquanto que, com menos satélites (11 satélites GPS), a variação é de 57 cm à -17 cm. Diante dos

desvios-padrão e dos resíduos apresentados, a melhor solução resultou do processamento das observações advindas de 11 satélites GPS.

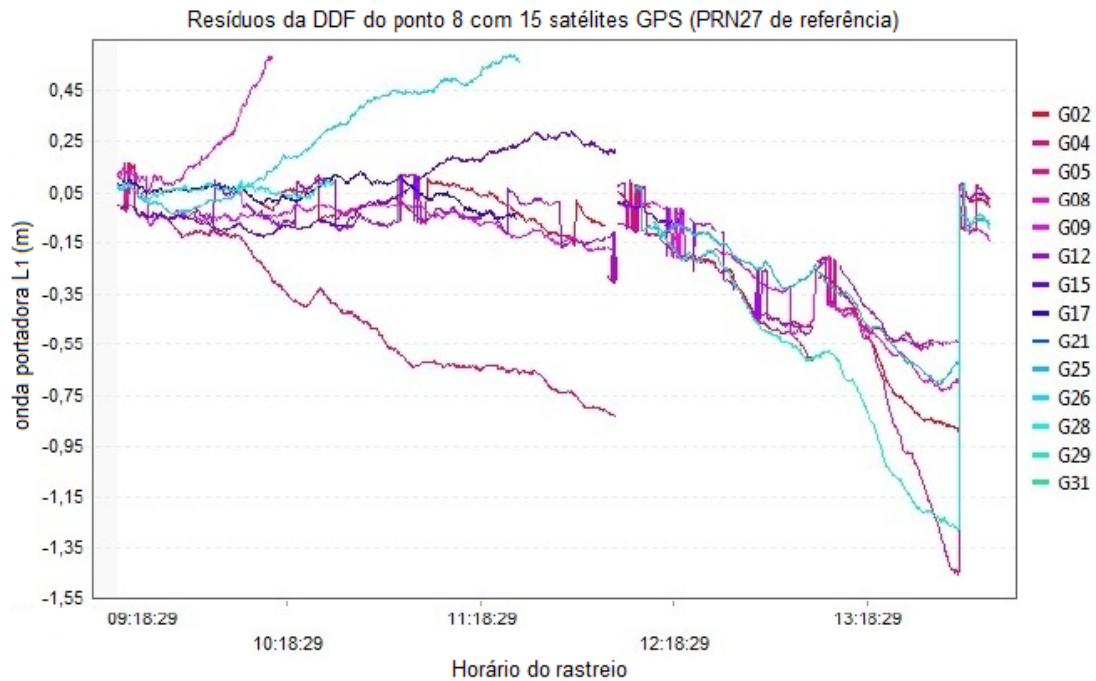


FIGURA 72 – RESÍDUOS DA DDF, NA PORTADORA L_1 , COM 15 SATÉLITES GPS, PARA O PONTO 8 (105 km)
FONTE: A autora (2012)

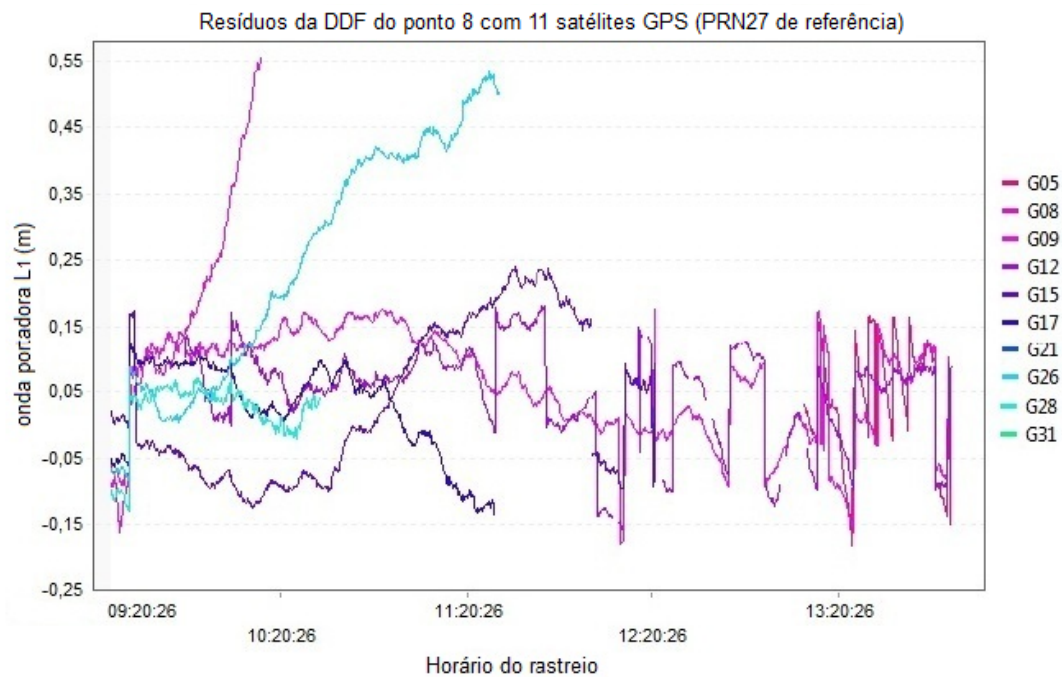


FIGURA 73 – RESÍDUOS DA DDF, NA PORTADORA L_1 , COM 11 SATÉLITES GPS, PARA O PONTO 8 (105 km)
FONTE: A autora (2012)

Com base nos desvios-padrão das coordenadas geodésicas apresentadas e nos resíduos das Duplas Diferenças de Fase foram selecionados os melhores resultados para cada ponto. Para melhor comparar as diferenças das altitudes elipsoidais, a TABELA 20, apresenta, as diferenças para todos os pontos, assim como, os equipamentos utilizados, a combinação linear empregada e a solução das ambiguidades obtida.

TABELA 20 – DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DOS PONTOS DE 1 A 9

Ponto	Número de satélites GPS	Solução das ambiguidades	Combinação linear	Equipamento utilizado	Diferença da altitude (m) (Outros parâmetros - BCAL/UFPR)		
					Sem parâmetros	NGS relativo	NGS absoluto
1	15	Fixa	L_1+L_2	LAIG	0,0869	-0,0043	-0,0043
2	15	Fixa	L_1+L_2	A	0,0632	0,0002	0,0003
3	14	Fixa	L_1+L_2	C	0,0574	-0,0003	-0,0002
4	15	Fixa	L_1+L_2	LAIG	0,0711	-0,0124	-0,0122
5	13	Flutuante	L_3	A	0,0604	-0,0014	-0,0013
6	15	Flutuante	L_3	C	0,0575	-0,0040	-0,0019
7	16	Flutuante	L_3	C	0,0579	-0,0019	-0,0010
8	11	Flutuante	L_3	LAIG	0,0934	0,0117	0,0116
9	16	Flutuante	L_3	A	0,0558	-0,0085	-0,0065

FONTE: A autora (2012)

Observa-se que, sem a utilização dos parâmetros as maiores diferenças ocorrem quando foi empregado o equipamento LAIG, nos pontos 1, 4 e 8.

É possível através da FIGURA 74 visualizar graficamente os valores das diferenças apresentadas na TABELA 20. As diferenças do NGS relativo e absoluto, são semelhantes em todos os pontos, exceto nos pontos 4 e 9, onde obteve-se uma diferença média de 0,99 mm.

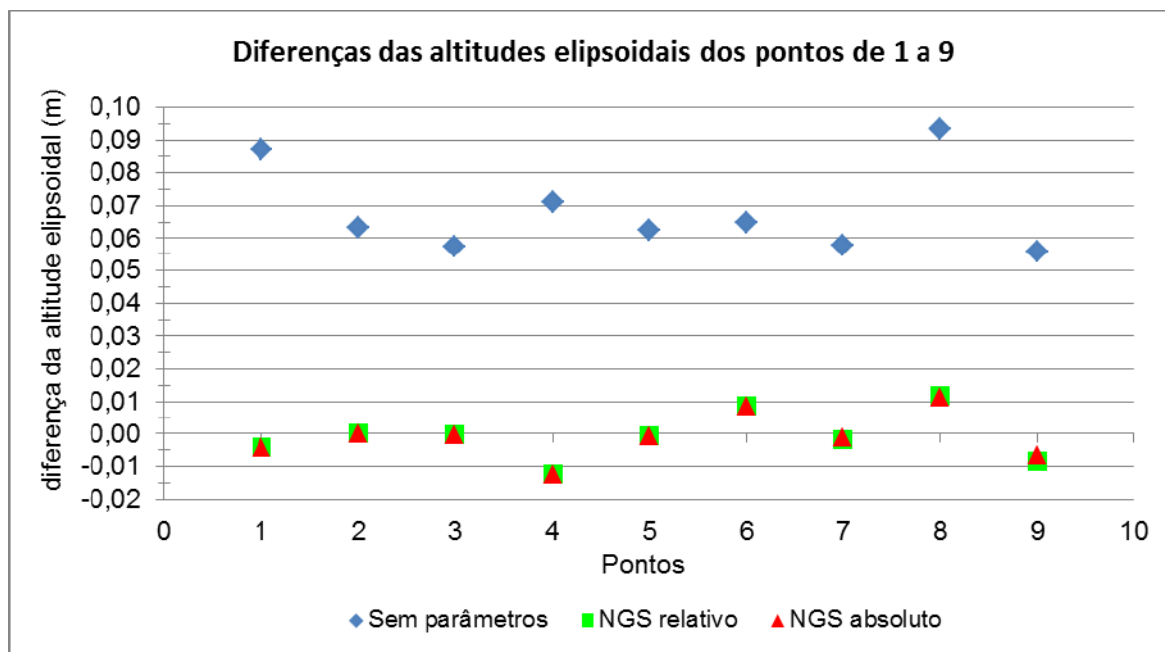


FIGURA 74 – DIFERENÇAS DAS ALTITUDES ELIPSOIDAIS DOS PONTOS DE 1 A 9
 FONTE: A autora (2012)

Após análise dos valores das altitudes elipsoidais e das diferenças encontradas ressalta-se a importância da aplicação dos parâmetros próprios de calibração de antenas GPS. Verificou-se que, com a inserção dos parâmetros médios do NGS (relativo e absoluto) as coordenadas geodésicas foram diferentes das que utilizaram os parâmetros individuais da BCAL/UFPR. Observou-se que, quando não foram empregados os PCO-PCV, obteve-se uma diferença média, na altitude elipsoidal, para todos os pontos, de 6,62 cm em relação à aplicação dos parâmetros da BCAL/UFPR.

4.5 PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO PARA DIFERENTES COMPRIMENTOS DE LINHA DE BASE

Após o processamento das observações GPS, conforme a seção 3.5, foram obtidas coordenadas geodésicas, assim como, os vetores formados entre a estação base (Pilar 2000 Norte) e os pontos rastreados.

Cada vetor linha de base está associado a um desvio-padrão, calculado no processamento dos dados GPS. Portanto, Nesta seção serão analisados os vetores formados entre a estação base e cada um dos pontos e seus desvios-padrão.

As análises foram realizadas conforme a precisão do método utilizado. De acordo com Kahmen²² (1997) *apud* Krueger (2007), a precisão do Método de Posicionamento Relativo Estático varia de 1,5 à 5 mm + (0,01 à 1 ppm), para linhas de base formadas até 40 km, emprego de receptores de dupla frequência, duração do rastreamento de 6 à 24 horas e com a presença mínima de 4 satélites. Para os três comprimentos de linhas de base, foi adotada a melhor precisão, ou seja, 1,5 mm + 0,01 ppm, em face de que, se almeja levantamentos de alta precisão. Assim, calculando-se a precisão para os pontos 1, 2 e 3 tem-se 1,59 mm; para os pontos 4, 5 e 6 ela é de 1,95 mm e para os pontos 7, 8 e 9 tem-se 2,55 mm.

Calcularam-se as diferenças das linhas de base entre sem parâmetros e a BCAL/UFPR; entre o NGS relativo e a BCAL/UFPR e entre o NGS absoluto e a BCAL/UFPR. Utilizando os desvios-padrão e as linhas de base foram admitidas linhas de base mínimas e máximas, para cada ponto, com a inserção dos diferentes parâmetros.

A TABELA 21 apresenta os vetores linhas de base formandos, desvios-padrão e as linhas de base mínimas e máximas, para os pontos distantes da BCAL/UFPR em até 9 km. São apresentados os resultados gerados sem e com a inserção de diferentes parâmetros de calibração. Com os desvios-padrão foi calculado o intervalo de $\pm 3\sigma$ com nível de confiança de 99,73%.

TABELA 21 – VETOR LINHA DE BASE E DESVIOS-PADRÃO DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km)

Ponto	Parâmetros	Linha de base (m)	σ (m)	-3σ (m)	$+3\sigma$ (m)
1	Sem parâmetros	9919,6369	0,0002	9919,6363	9919,6375
	NGS relativo	9919,6363	0,0002	9919,6357	9919,6369
	NGS absoluto	9919,6363	0,0002	9919,6357	9919,6369
	BCAL/UFPR	9919,6357	0,0002	9919,6351	9919,6363
2	Sem parâmetros	9818,7623	0,0002	9818,7617	9818,7629
	NGS relativo	9818,7626	0,0002	9818,7620	9818,7632
	NGS absoluto	9818,7627	0,0002	9818,7621	9818,7633
	BCAL/UFPR	9818,7630	0,0002	9818,7624	9818,7636
3	Sem parâmetros	8770,8160	0,0002	8770,8154	8770,8166
	NGS relativo	8770,8161	0,0002	8770,8155	8770,8167
	NGS absoluto	8770,8162	0,0002	8770,8156	8770,8168
	BCAL/UFPR	8770,8156	0,0002	8770,8150	8770,8162

FONTE: A autora (2012)

²² KAHMEN, H., 1997. **Vermessungskunde**. Berlin, New York, Walter de Gruyter, 19^o Auflage, 600p.

As linhas de base diferem-se em até 1,15 km. Atendendo, desta forma, um dos pré-requisitos citados na seção 3.3, não ultrapassando uma diferença de 15% do comprimento da linha de base estipulada (seção 3.3). Verifica-se que, independente do ponto levantado e de qual parâmetro foi empregado, os desvios-padrão foram os mesmos (0,2 mm). Observa-se que, para o ponto 1, quando comparada a linha de base com $+3\sigma$, sem parâmetros, e a linha de base com -3σ , com parâmetros da BCAL/UFPR, a diferença chega a 2,4 mm.

As diferenças, para os pontos 1, 2 e 3, dos vetores linhas de base e suas componentes, podem ser verificadas na TABELA 22.

TABELA 22 – DIFERENÇAS ENTRE AS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km)

Ponto	Parâmetros	Diferença da linha de base (m)
1	Sem parâmetros	0,0012
	NGS relativo	0,0006
	NGS absoluto	0,0006
	BCAL/UFPR	-----
2	Sem parâmetros	-0,0007
	NGS relativo	-0,0004
	NGS absoluto	-0,0003
	BCAL/UFPR	-----
3	Sem parâmetros	0,0004
	NGS relativo	0,0005
	NGS absoluto	0,0006
	BCAL/UFPR	-----

FONTE: A autora (2012)

Sem a aplicação de qualquer parâmetro de calibração de antenas GPS, obteve-se uma diferença média de 0,77 mm. Quando inseridos os valores de PCO-PCV do NGS relativo e absoluto, as diferenças variam de -0,3 mm à 0,6 mm.

Atenta-se que para estes pontos (9 km), a precisão do método, para a situação de $1,5 \text{ mm} + 0,01 \text{ ppm}$, é alcançada com a inserção de qualquer um dos parâmetros de calibração apresentados.

Através da FIGURA 75 podem-se visualizar as diferenças apresentadas na TABELA 22. Percebe-se notoriamente que, para o ponto 3, têm-se as três diferenças (sem parâmetros, NGS relativo e absoluto) semelhantes (média de 0,5 mm). Atenta-se para a diferença, de sem parâmetros, para o ponto 1, que se destaca das demais.

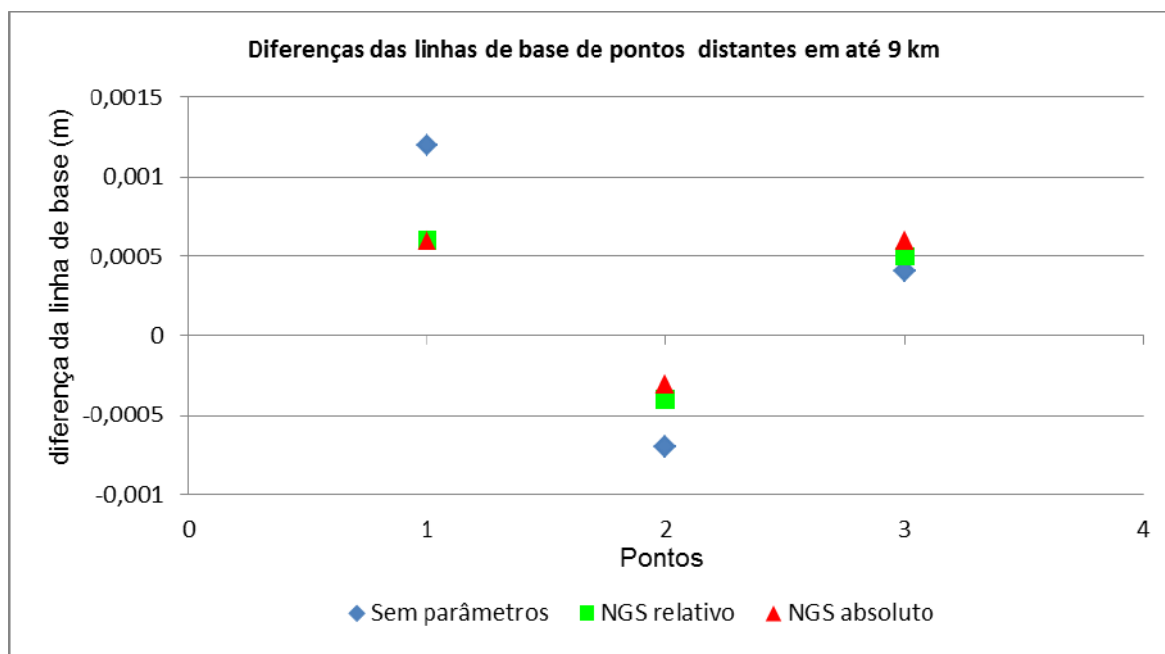


FIGURA 75 – DIFERENÇAS DAS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 1, 2 E 3 (9 km)
FONTE: A autora (2012)

A TABELA 23 mostra os vetores linhas de base, desvios-padrão, linhas de base mínimas e máximas, para os pontos 4, 5 e 6, advindos dos processamentos, com a combinação linear L_3 , com e sem a adição de parâmetros de calibração de antenas GPS.

TABELA 23 – VETOR LINHA DE BASE E DESVIOS-PADRÃO DOS PONTOS 4, 5 E 6 (L_3) (45 km)

Ponto	Parâmetros	Linha de base (m)	σ (m)	-3σ (m)	$+3\sigma$ (m)
4	Sem parâmetros	46900,5120	0,0008	46900,5096	46900,5144
	NGS relativo	46900,5049	0,0008	46900,5025	46900,5073
	NGS absoluto	46900,5049	0,0008	46900,5025	46900,5073
	BCAL/UFPR	46900,5228	0,0008	46900,5204	46900,5252
5	Sem parâmetros	47937,7272	0,0003	47937,7263	47937,7281
	NGS relativo	47937,7322	0,0003	47937,7313	47937,7331
	NGS absoluto	47937,7329	0,0003	47937,7320	47937,7338
	BCAL/UFPR	47937,7305	0,0003	47937,7296	47937,7314
6	Sem parâmetros	47247,7767	0,0003	47247,7758	47247,7776
	NGS relativo	47247,7829	0,0004	47247,7817	47247,7841
	NGS absoluto	47247,7825	0,0003	47247,7816	47247,7834
	BCAL/UFPR	47247,7834	0,0004	47247,7822	47247,7846

FONTE: A autora (2012)

A diferença entre as distâncias, das linhas de base médias, é de aproximadamente 1,04 km, abaixo dos 15% permitidos (seção 3.3). Verifica-se que,

os desvios-padrão para os pontos 5 e 6 variam de 0,3 mm e 0,4 mm. O ponto 4 difere dos demais e tem desvios-padrão de 0,8 mm, com a inserção de qualquer parâmetro de calibração de antena GPS.

As linhas de base, desvios-padrão e linhas de base mínimas e máximas, com a combinação linear L_1+L_2 , para os pontos 4, 5 e 6, são apresentadas na TABELA 24.

TABELA 24 – VETOR LINHA DE BASE E DESVIOS-PADRÃO DOS PONTOS 4, 5 E 6 (L_1+L_2) (45 km)

Ponto	Parâmetros	Linha de base (m)	σ (m)	-3σ (m)	$+3\sigma$ (m)
4	Sem parâmetros	46900,4009	0,0005	46900,3994	46900,4024
	NGS relativo	46900,3962	0,0005	46900,3947	46900,3977
	NGS absoluto	46900,3962	0,0005	46900,3947	46900,3977
	BCAL/UFPR	46900,4028	0,0006	46900,4010	46900,4046
5	Sem parâmetros	47937,6415	0,0005	47937,6400	47937,6430
	NGS relativo	47937,6420	0,0005	47937,6405	47937,6435
	NGS absoluto	47937,6421	0,0005	47937,6406	47937,6436
	BCAL/UFPR	47937,6421	0,0005	47937,6406	47937,6436
6	Sem parâmetros	47247,6878	0,0004	47247,6866	47247,6890
	NGS relativo	47247,6910	0,0004	47247,6898	47247,6922
	NGS absoluto	47247,6899	0,0004	47247,6887	47247,6911
	BCAL/UFPR	47247,6941	0,0004	47247,6929	47247,6953

FONTE: A autora (2012)

As linhas de base quando empregada a combinação linear L_1+L_2 diferem das advindas do processamento com a aplicação da combinação linear L_3 . Têm-se diferenças na ordem do centímetro. Observa-se a maior diferença, para o ponto 4, com o emprego dos PCO-PCV da BCAL/UFPR, de 12 cm. Com o emprego da combinação linear L_1+L_2 , os desvios-padrão, para os pontos 4 e 5 é de 0,5 mm. Nota-se que, estes desvios-padrão diminuíram em relação aos calculados quando da utilização da combinação linear L_3 .

As diferenças entre os resultados obtidos, sem e com a aplicação de PCO-PCV, para os pontos distantes da BCAL/UFPR em até 45 km, com o emprego da combinação linear L_3 , constam na TABELA 25.

TABELA 25 – DIFERENÇAS ENTRE AS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 4, 5 E 6 (L_3) (45 km)

Ponto	Parâmetros	Diferença no vetor linha de base (m)
4	Sem parâmetros	-0,0108
	NGS relativo	-0,0179
	NGS absoluto	-0,0179
	BCAL/UFPR	-----
5	Sem parâmetros	-0,0033
	NGS relativo	0,0017
	NGS absoluto	0,0024
	BCAL/UFPR	-----
6	Sem parâmetros	-0,0067
	NGS relativo	-0,0005
	NGS absoluto	-0,0009
	BCAL/UFPR	-----

FONTE: A autora (2012)

Com o emprego da combinação linear L_3 , verifica-se que, a média das diferenças, sem parâmetros, é de 6,9 mm. O ponto 4 detêm as maiores diferenças. Para este ponto, a diferença de sem parâmetros é de -1,08 cm e para NGS relativo e absoluto é de -1,79 cm. No ponto 4, diante das diferenças apresentadas, é possível inferir que a precisão do método, para a situação de 1,5 mm + 0,01 ppm, somente é obtida com a aplicação dos valores de calibração da BCAL/UFPR. Para o ponto 5 verificou-se que, com a aplicação dos parâmetros do NGS relativo a precisão do método também foi atingida.

As diferenças das linhas de base, com a combinação linear L_1+L_2 , para os pontos 4, 5 e 6, são apresentadas na TABELA 26.

Verifica-se que, com a aplicação da combinação linear L_1+L_2 , a média das diferenças, sem parâmetros, é de 2,9 mm. Observa-se que, o ponto 6 obteve as maiores diferenças. Para este ponto, a diferença de sem parâmetros, NGS relativo e absoluto foi respectivamente de -6,3 mm, -3,1 mm e -4,2 mm. Nos pontos 4 e 6, diante das diferenças apresentadas, é possível afirmar que a precisão do método, para a situação de 1,5 mm + 0,01 ppm, somente é obtida com a aplicação dos parâmetros de calibração da BCAL/UFPR.

TABELA 26 – DIFERENÇAS ENTRE AS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 4, 5 E 6 (L_1+L_2) (45 km)

Ponto	Parâmetros	Diferença no vetor linha de base (m)
4	Sem parâmetros	-0,0019
	NGS relativo	-0,0066
	NGS absoluto	-0,0066
	BCAL/UFPR	-----
5	Sem parâmetros	-0,0006
	NGS relativo	-0,0001
	NGS absoluto	0,0000
	BCAL/UFPR	-----
6	Sem parâmetros	-0,0063
	NGS relativo	-0,0031
	NGS absoluto	-0,0042
	BCAL/UFPR	-----

FONTE: A autora (2012)

A FIGURA 76 apresenta graficamente as diferenças, para os pontos 4, 5 e 6, obtidas com as combinações lineares L_3 e L_1+L_2 (TABELA 25 e TABELA 26). Nota-se que, o ponto 4 apresenta as maiores diferenças quando do emprego da combinação linear L_3 e L_1+L_2 . Verifica-se que, para o ponto 5 foram obtidas as menores diferenças de ordem submilimétrica.

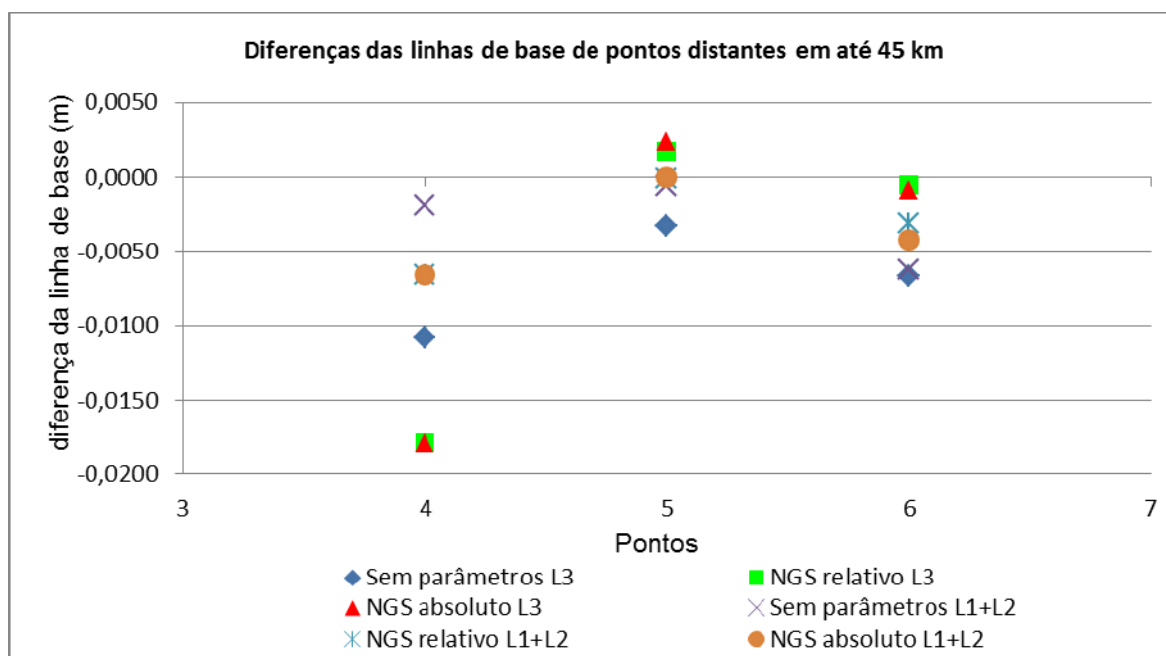


FIGURA 76 – DIFERENÇAS DAS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 4, 5 E 6 (45 km)

FONTE: A autora (2012)

É possível conferir na TABELA 27 os vetores linhas de base, seus desvios-padrão e linhas de base com intervalo de 3σ para cada ponto distante da BCAL/UFPR em até 105 km.

TABELA 27 – VETOR LINHA DE BASE E DESVIOS-PADRÃO DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km)

Ponto	Número de satélites GPS	Parâmetros	Linha de base (m)	σ (m)	-3σ (m)	$+3\sigma$ (m)
7	16	Sem parâmetros	110219,0773	0,0006	110219,0755	110219,0791
		NGS relativo	110219,0719	0,0006	110219,0701	110219,0737
		NGS absoluto	110219,0724	0,0006	110219,0706	110219,0742
		BCAL/UFPR	110219,0726	0,0006	110219,0708	110219,0744
8	15	Sem parâmetros	98650,3546	0,0018	98650,3492	98650,3600
		NGS relativo	98650,3616	0,0018	98650,3562	98650,3670
		NGS absoluto	98650,3617	0,0019	98650,3560	98650,3674
		BCAL/UFPR	98650,3550	0,0018	98650,3496	98650,3604
8	11	Sem parâmetros	98650,3453	0,0009	98650,3426	98650,3480
		NGS relativo	98650,3501	0,0009	98650,3474	98650,3528
		NGS absoluto	98650,3500	0,0009	98650,3473	98650,3527
		BCAL/UFPR	98650,3492	0,0009	98650,3465	98650,3519
9	16	Sem parâmetros	102131,7038	0,0007	102131,7017	102131,7059
		NGS relativo	102131,7009	0,0006	102131,6991	102131,7027
		NGS absoluto	102131,6996	0,0007	102131,6975	102131,7017
		BCAL/UFPR	102131,6978	0,0006	102131,6960	102131,6996

FONTE: A autora (2012)

Os comprimentos dos vetores linhas de base, para os pontos distantes da BCAL/UFPR em até 105 km, têm discrepância máxima de 11,6 km. Portanto, diferença menor que 15%, conforme a seção 3.3. Nota-se que, a maior diferença, entre as linhas de base com -3σ (da BCAL/UFPR) e com $+3\sigma$ (do sem parâmetros), encontra-se no ponto 8, com 15 satélites. Para este ponto a diferença é de 1,04 cm. Verifica-se que, o ponto 8, processado com o emprego de 15 e 11 satélites GPS, detêm os maiores desvios-padrão. No entanto, quando da utilização de 11 satélites GPS obteve-se melhor solução, com desvios-padrão de 0,9 mm, com a aplicação de qualquer um dos parâmetros de calibração.

As diferenças das linhas de base, entre os resultados obtidos sem e com a aplicação dos PCO-PCV, para os pontos 7, 8 e 9 constam na TABELA 28.

TABELA 28 – DIFERENÇAS ENTRE AS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km)

Ponto	Número de satélites GPS	Parâmetros	Diferença no vetor linha de base (m)
7	16	Sem parâmetros	0,0047
		NGS relativo	-0,0007
		NGS absoluto	-0,0002
		BCAL/UFPR	-----
8	15	Sem parâmetros	-0,0004
		NGS relativo	0,0066
		NGS absoluto	0,0067
		BCAL/UFPR	-----
8	11	Sem parâmetros	-0,0039
		NGS relativo	0,0009
		NGS absoluto	0,0008
		BCAL/UFPR	-----
9	16	Sem parâmetros	0,0060
		NGS relativo	0,0031
		NGS absoluto	0,0018
		BCAL/UFPR	-----

FONTE: A autora (2012)

Para o ponto 8, com o emprego de 11 satélites GPS foram alcançadas as menores diferenças, para NGS relativo e absoluto (0,9 mm e 0,8 mm) e maior (-3,9 mm), quando não foram inseridos parâmetros de calibração. O ponto 9, detêm a maior diferença, quando comparados os resultados de sem parâmetros. A média dos três pontos para sem parâmetros é de 4,87 mm. Esta média considera a diferença obtida, para o ponto 8, com o emprego de 11 satélites GPS, em face de que seus desvios-padrão foram menores, quando comparados com o processamento com 15 satélites GPS. No ponto 8, com 15 satélites, diante das diferenças apresentadas, é possível afirmar que a precisão do método, para a situação de 1,5 mm + 0,01 ppm, somente é obtida com a aplicação dos parâmetros de calibração da BCAL/UFPR. O ponto 9 atinge a precisão do método utilizando, além dos parâmetros da BCAL/UFPR, os valores do NGS absoluto.

A FIGURA 77 ilustra as diferenças apresentadas na TABELA 28. Verifica-se que, quando do emprego de 11 satélites GPS a diferença é maior (-3,9 mm), para sem parâmetros, a situação se inverte quando são utilizados 15 satélites GPS, assim a diferença é maior com a aplicação dos PCO-PCV do NGS relativo e absoluto (6,6 mm e 6,7 mm).

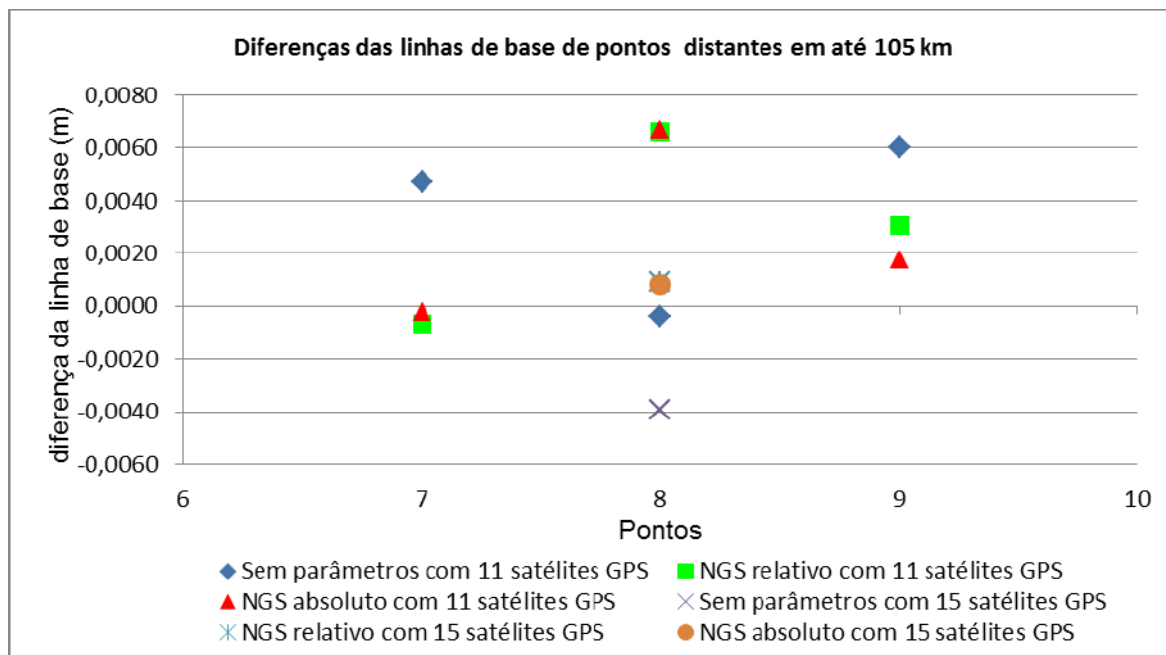


FIGURA 77 – DIFERENÇAS DAS LINHAS DE BASE DOS PONTOS 7, 8 E 9 (105 km)
 FONTE: A autora (2012)

Diante das diferenças apresentadas cabe-se ressaltar, além dos resíduos das Duplas Diferenças de Fase citados na seção 4.4, os resíduos da DDF para os pontos 7 e 9 com linhas de base longas (105 km), e os resíduos do ponto 4 com a inserção dos parâmetros de diferentes parâmetros.

As FIGURA 78 e FIGURA 79 apresentam detalhes dos resíduos das DDF, na onda portadora L_1 , para os pontos 7 e 9 do PRN26. Os resíduos foram calculados entre o satélite de referência (PRN27) e o satélite (PRN26) observado durante o intervalo de rastreamento nos pontos 7 e 9. Este satélite, neste trecho, apresentou elevação descendente (de 70° à 35°). Para o ponto 7 verifica-se que, conforme decresceu a elevação do PRN26 ocorreu um aumento no resíduo deste satélite. Observa-se que, para o ponto 7 o resíduo varia de 8 cm à -28 cm, enquanto que para o ponto 9 existe uma variação entre 43 cm e -3 cm.

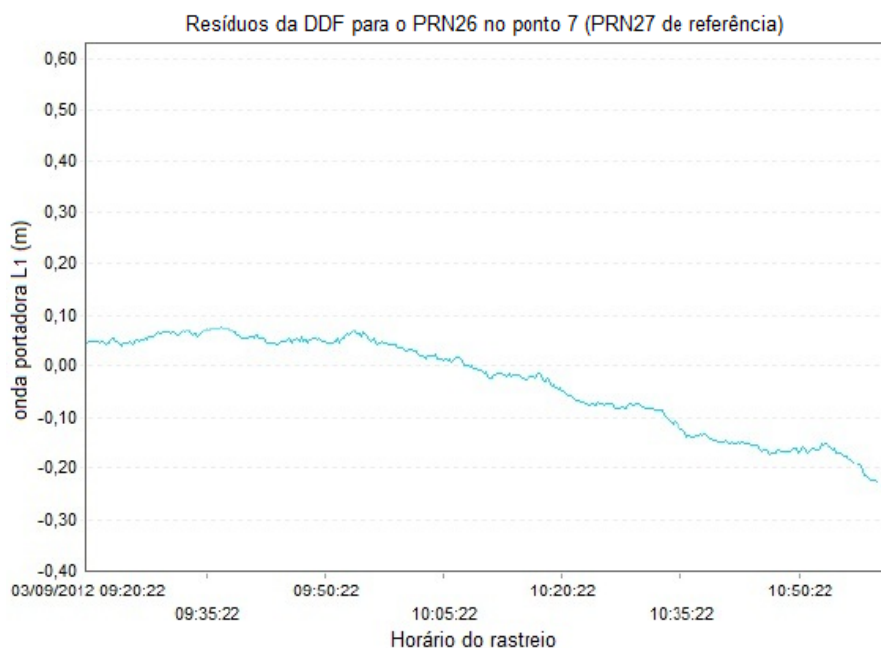


FIGURA 78 – RESÍDUOS DA DDF (PRN26), NA PORTADORA L₁, PARA O PONTO 7 (105 km)
 FONTE: A autora (2012)

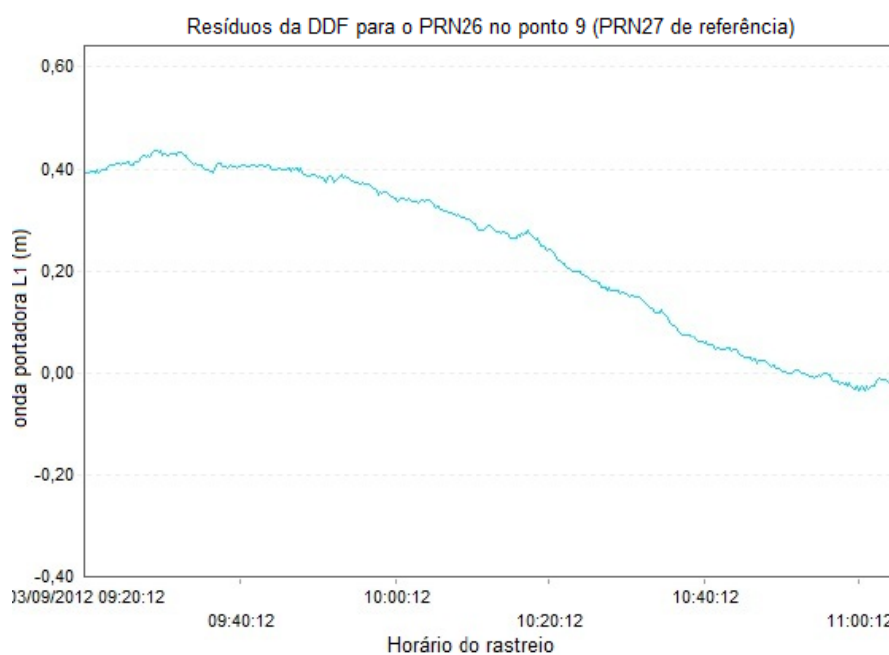


FIGURA 79 – RESÍDUOS DA DDF (PRN26), NA PORTADORA L₁, PARA O PONTO 9 (105 km)
 FONTE: A autora (2012)

Na FIGURA 80 são apresentadas as médias das DDF, na onda portadora L₁, sem parâmetros e com valores de PCO-PCV do NGS absoluto.

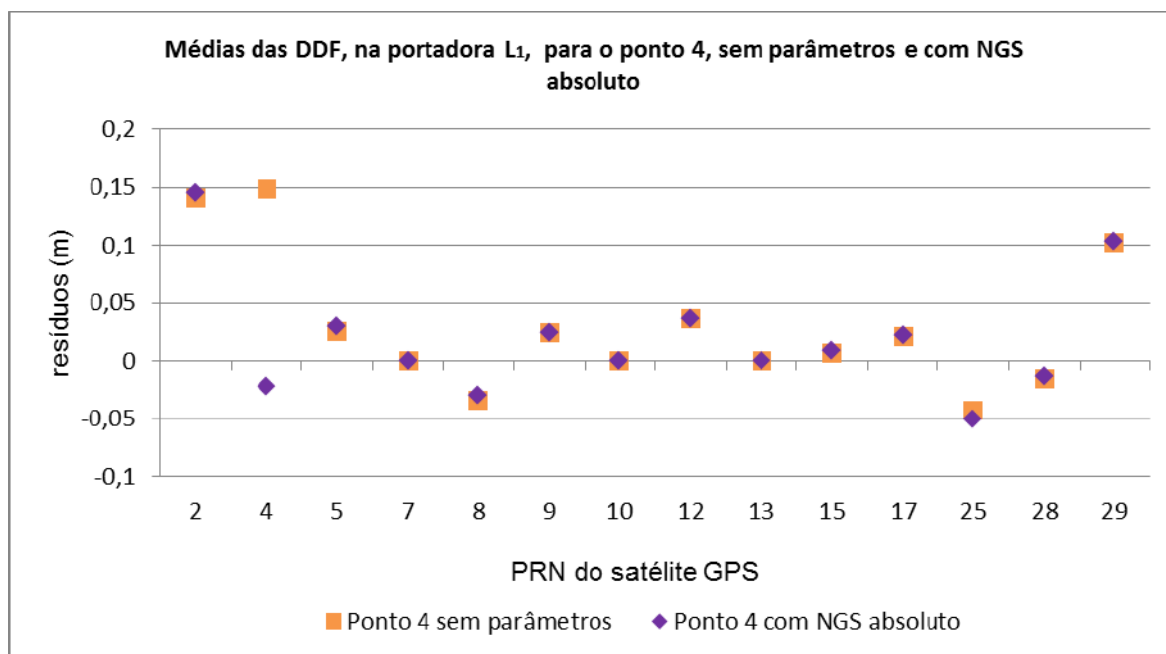


FIGURA 80 – MÉDIAS DAS DDF, NA PORTADORA L_1 , SEM PARÂMETROS E NGS ABSOLUTO, PARA O PONTO 4 (45 km)
 FONTE: A autora (2012)

Para todos os pontos, os resíduos das Duplas Diferenças de Fase, independente dos parâmetros empregados, foram similares. No entanto, visualiza-se que, para o PRN4, no ponto 4, houve uma discrepância entre os resíduos com o emprego de diferentes parâmetros (sem parâmetros e NGS absoluto).

Nas FIGURA 81 e FIGURA 82 observam-se os mesmos intervalos de resíduos, na portadora L_1 , para o ponto 4. Observa-se que, com o emprego dos parâmetros do NGS absoluto obteve-se média igual à -2,2 cm, enquanto que sem a inserção de parâmetros de calibração a média, para o PRN4, foi de 14,9 cm. Neste intervalo os valores máximos e mínimos, com NGS absoluto, foram de -9 cm e 1 cm, respectivamente. Sem o emprego dos parâmetros de calibração observou-se máximos e mínimos de 21 cm e 9 cm, respectivamente.

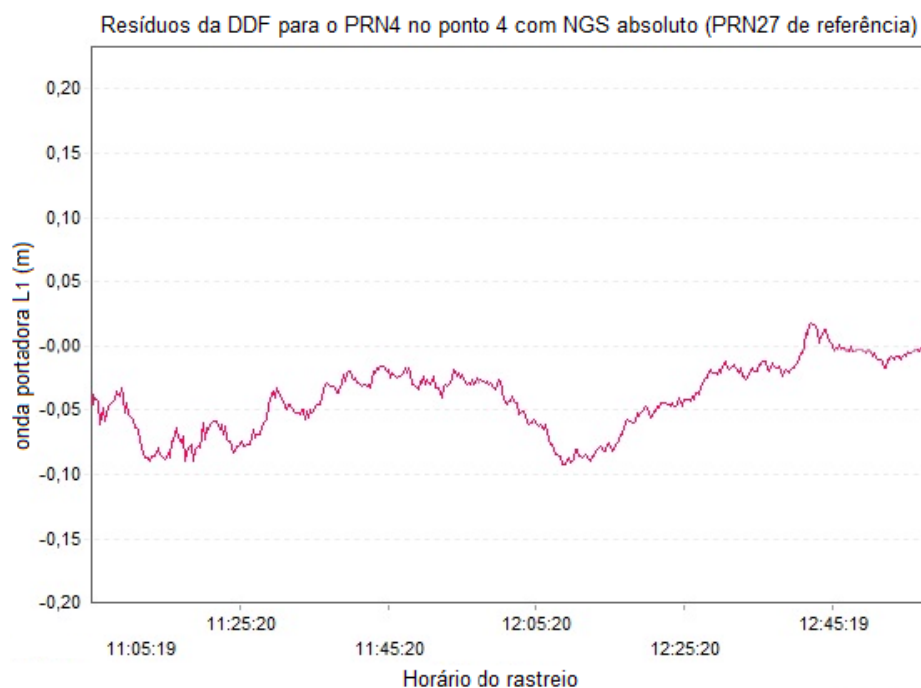


FIGURA 81 – RESÍDUOS DA DDF (PRN4), NA PORTADORA L_1 , COM NGS ABSOLUTO, PARA O PONTO 4 (45 km)
 FONTE: A autora (2012)

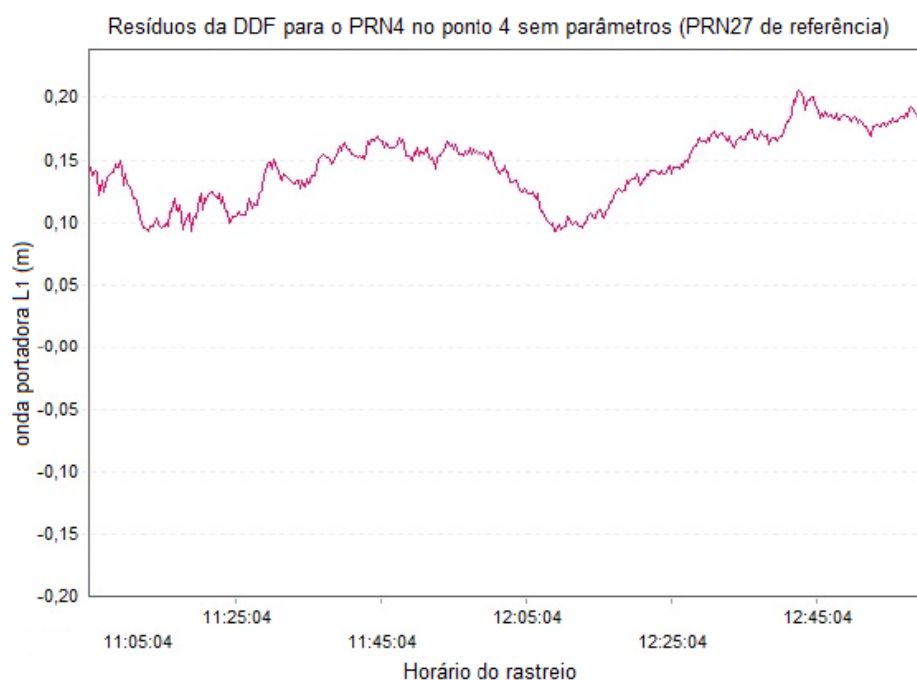


FIGURA 82 – RESÍDUOS DA DDF (PRN4), NA PORTADORA L_1 , SEM PARÂMETROS, PARA O PONTO 4 (45 km)
 FONTE: A autora (2012)

Com base nos desvios-padrão das linhas de base e dos resíduos das Duplas Diferenças de Fase apresentados na seção 4.4, foram selecionados os

melhores resultados para cada ponto. Desta forma, escolheu-se os resultados dos mesmos processamentos selecionados na seção 4.4.

A TABELA 29 apresenta as diferenças das linhas de base, para os diferentes parâmetros, dos pontos de 1 a 9.

TABELA 29 – DIFERENÇAS DAS LINHAS DE BASE DOS PONTOS DE 1 A 9

Ponto	Número de satélites GPS	Solução das ambiguidades	Combinação linear	Equipamento utilizado	Diferença da linha de base (m) (Outros parâmetros - BCAL/UFPR)		
					Sem parâmetros	NGS relativo	NGS absoluto
1	15	Fixa	L_1+L_2	LAIG	0,0012	0,0006	0,0006
2	15	Fixa	L_1+L_2	A	-0,0007	-0,0004	-0,0003
3	14	Fixa	L_1+L_2	C	0,0004	0,0005	0,0006
4	15	Fixa	L_1+L_2	LAIG	-0,0019	-0,0066	-0,0066
5	13	Flutuante	L_3	A	-0,0033	0,0017	0,0024
6	15	Flutuante	L_3	C	-0,0067	-0,0005	-0,0009
7	16	Flutuante	L_3	C	0,0047	-0,0007	-0,0002
8	11	Flutuante	L_3	LAIG	-0,0039	0,0009	0,0008
9	16	Flutuante	L_3	A	0,0060	0,0031	0,0018

FONTE: A autora (2012)

Nota-se que todas as diferenças calculadas são de ordem milimétrica. Observa-se que, as menores diferenças, com NGS relativo e absoluto, ocorrem para os pontos 1, 2 e 3 com linhas de base curtas (9 km).

Através da FIGURA 83 é possível visualizar graficamente as diferenças mencionadas na TABELA 29. Observa-se que, quando do emprego dos parâmetros do NGS relativo e absoluto as diferenças foram menores que 4 mm, exceto para o ponto 4, onde se obteve uma diferença de -6,6 mm. Verifica-se que, a maior diferença, de sem parâmetros, ocorre no ponto 6. Lembra-se que este ponto foi o que mais sofreu com os erros advindos do efeito de multicaminho.

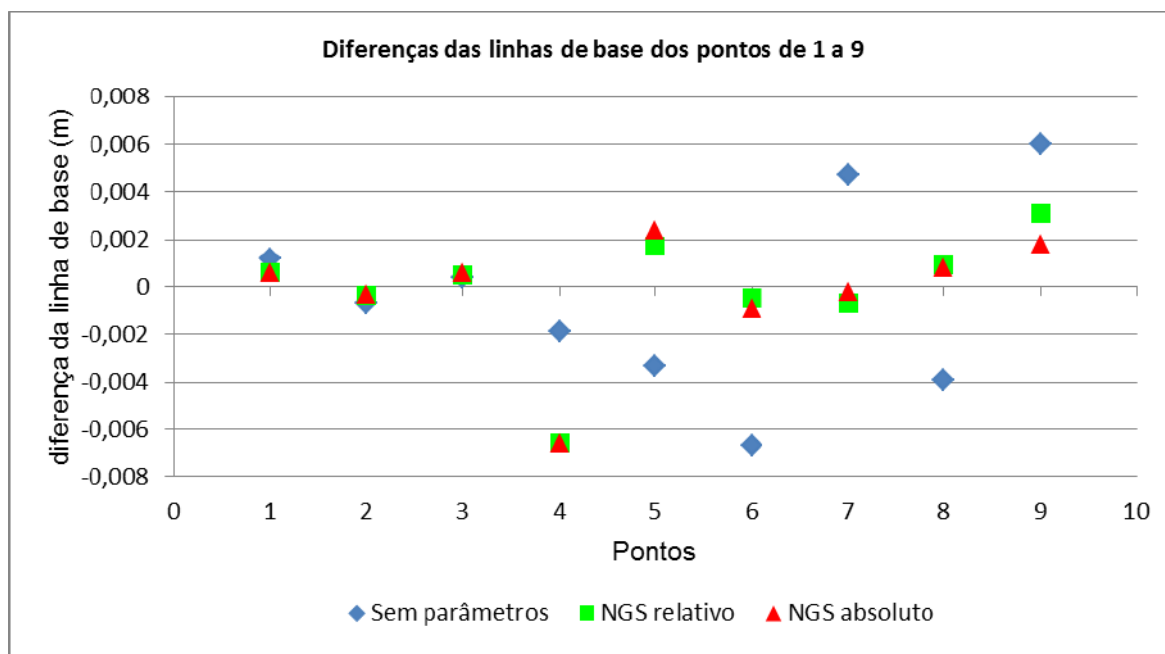


FIGURA 83 – DIFERENÇAS DAS LINHAS DE BASE PARA OS PONTOS DE 1 A 9
 FONTE: A autora (2012)

Com a aplicação dos parâmetros médios do NGS (relativo e absoluto) as linhas de base foram diferentes das linhas de base resultantes da inserção dos parâmetros individuais da BCAL/UFPR. Quando não foram empregados os PCO-PCV, obteve-se uma diferença média, na linha de base, para todos os pontos, de 3,2 mm em relação à aplicação dos parâmetros da BCAL/UFPR.

Observou-se que, quanto maior o comprimento da linha de base, maior é a diferença, quando comparados os valores sem parâmetros e os resultados advindos da inserção dos parâmetros da BCAL/UFPR. Para as linhas de base curtas (9 km), obteve-se média, sem parâmetros, de 0,77 mm, sendo que a maior diferença foi encontrada para o ponto 1. Quando analisados os pontos de linhas de base médias (45 km), a média, sem parâmetros, foi de 3,97 mm, onde a maior diferença foi calculada para o ponto 6. Para os pontos distantes da BCAL/UFPR em até 105 km (linhas de base longas), a média, sem parâmetros, foi de 4,87 mm, sendo que a maior diferença foi encontrada para o ponto 9.

Ressalta-se que, quando adotada a precisão de 1,5 mm + 0,1 ppm, os pontos 4 (com L_3 e L_1+L_2), 6 (com L_1+L_2), 8 (com 15 satélites), somente conseguiram alcançar esta precisão com a inserção dos parâmetros da BCAL/UFPR. Para os pontos 5 (com L_3) e 9 a precisão do método foi alcançada com os valores do NGS relativo e NGS absoluto, respectivamente. Para estes pontos (5 e

9), diante das diferenças entre os resultados advindos da aplicação dos parâmetros do NGS relativo e absoluto, verificou-se que, o mais seguro é a utilização dos valores próprios da BCAL/UFPR. Lembra-se que, os pontos 4, 5 e 6, distam da BCAL/UFPR até 45 km e os pontos 8 e 9, têm distância máxima de 105 km. Portanto, têm-se para 83,33% dos processamentos, com linhas de base médias e longas, que para posicionamentos de alta precisão, torna-se imprescindível a aplicação de parâmetros próprios das antenas GPS utilizadas nos levantamentos.

Analisando os valores das linhas de base e suas diferenças encontradas, destaca-se a relevância do emprego dos parâmetros próprios de calibração de antenas GPS.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O pilar 2000 (Norte) da BCAL/UFPR foi utilizado como estação base para os processamentos dos pontos de 1 a 9. Através do processamento de observações GPS de 4 sessões com 6 horas de duração, nos dias GPS 31 e 32, do pilar 2000 (Norte), determinou-se as coordenadas geodésicas precisas deste pilar. Neste processamento foram obtidos, na latitude, longitude e altitude elipsoidal, desvios-padrão iguais a 13 mm.

Foram realizados levantamentos de campo em 6 dias GPS (44, 45, 47, 48, 68 e 69). Nos dias GPS 44 e 45, foram realizados os rastreios dos pontos, 4, 5 e 6, com linhas de base médias (45 km). Os pontos 1, 2 e 3, com linhas de base curtas, foram rastreados nos dias GPS 47 e 48. Realizaram-se os levantamentos dos pontos 7, 8 e 9, com linhas de base longas (105 km), nos dias GPS 68 e 69. Utilizaram-se 18 arquivos de dados GPS para a análise do efeito de multicaminho, e 9 arquivos (dias GPS 44, 48 e 69) para a determinação das coordenadas geodésicas dos pontos com o emprego de diferentes parâmetros de calibração de antenas GPS.

Analisando o efeito de multicaminho dos pontos rastreados, com e sem o emprego de uma versão do material atenuador de efeito de multicaminho AEM-LAGEH, verificou-se sua eficiência e a limitação (destas versões utilizadas) quando submetidos a precipitações pluviométricas. Entretanto, salienta-se que o LAGEH já desenvolveu uma nova versão do AEM-LAGEH que apresentou resultados positivos quando submetido à chuva. Quando da utilização do material isolante seco, obteve-se 100% de eficiência. Estes resultados foram alcançados nos pontos 7 e 9, com valores de efeito de multicaminho, na onda portadora L_1 , igual à 0,17 m e 0,25 m, e na onda portadora L_2 , igual à 0,23 m e 0,31 m, respectivamente. Comparando os resultados de efeito de multicaminho com e sem a utilização do AEM-LAGEH, quando do emprego do material, obteve-se uma redução de 40%, para o ponto 7 e de 7,5%, para o ponto 9, na onda portadora L_1 , de 28%, para o ponto 7 e de 6%, para o ponto 9, na onda portadora L_2 . Quando do emprego do material atenuador molhado, seus resultados foram positivos somente quando o efeito de multicaminho foi muito alto (acima da média dos outros pontos – 5,6 cm). Isto ocorreu no ponto 6 onde, neste ponto houve uma melhora de cerca de 34%, na onda portadora L_1 , e de

cerca de 35%, na portadora L_2 . Para o ponto 6, salienta-se que, embora molhado, o material isolante, apresentou melhora da ordem de centímetros. Considerando os dias GPS em que não foram utilizados os materiais atenuadores e, portanto determinou-se as coordenadas geodésicas dos pontos, o menor efeito de multicaminho ocorreu no ponto 5. Neste ponto os valores de multicaminho, nas portadoras L_1 e L_2 , foi respectivamente de 0,1499 m e 0,1653 m.

Após o processamento dos dados GPS, foi verificado que os pré-requisitos citados na seção 3.3 foram atendidos. Realizaram-se 4 processamentos distintos, utilizando diferentes parâmetros (sem parâmetros, NGS relativo, NGS absoluto e BCAL/UFPR). Calcularam-se ainda as diferenças das altitudes elipsoidais entre sem parâmetros e a BCAL/UFPR; entre o NGS relativo e a BCAL/UFPR e entre o NGS absoluto e a BCAL/UFPR. Para os pontos de 1 à 6 foi utilizada a combinação linear L_1+L_2 , e a combinação linear L_3 , foi empregada nos pontos de 4 à 9. Devido aos resíduos das Duplas Diferenças de Fase, apresentados no ponto 8, foi realizado um segundo processamento com a exclusão de alguns satélites que apresentaram resíduos muito altos (maiores que 1 m), onde se encontrou a melhor solução para este ponto. As diferenças com a aplicação dos parâmetros médios do NGS (relativo e absoluto), são semelhantes em todos os pontos, exceto nos pontos 4 e 9, onde obteve-se uma diferença média de 0,99 mm. Quando não foram empregados os PCO-PCV, obteve-se uma diferença média, na altitude elipsoidal, para todos os pontos, de 6,62 cm em relação à aplicação dos parâmetros da BCAL/UFPR.

Para a análise dos comprimentos de linhas de base foram utilizadas as diferenças calculadas (outros parâmetros – BCAL/UFPR), o intervalo de $\pm 3\sigma$ e a precisão do método. Para os três comprimentos de linha de base, foi adotada a precisão de 1,5 mm + 0,01 ppm, em face de que, se almeja levantamentos de alta precisão. Assim, calculando-se a precisão para os pontos 1, 2 e 3 tem-se 1,59 mm; para os pontos 4, 5 e 6 ela é de 1,95 mm e para os pontos 7, 8 e 9 tem-se 2,55 mm. Através das análises das linhas de base foi verificado que, quando não foram empregados os valores de PCO-PCV, obteve-se uma diferença média, para todos os pontos, de 3,2 mm. Observou-se ainda que, quanto maior foi o comprimento da linha de base, maior foi a diferença, quando comparados os valores sem parâmetros e os resultados advindos da inserção dos parâmetros da BCAL/UFPR. Para os pontos 1, 2 e 3 (9 km), obteve-se média, sem parâmetros, de 0,77 mm, sendo que a maior diferença foi encontrada no ponto 1. Quando analisados os pontos 4, 5 e 6 (45

km), a média, sem parâmetros, foi de 3,97 mm, onde a maior diferença foi calculada para o ponto 6. Lembra-se que este ponto foi o que mais sofreu com os erros advindos do efeito de multicaminho. Para os pontos 7, 8 e 9 (105 km), a média, sem parâmetros, foi de 4,87 mm, sendo que a maior diferença foi encontrada para o ponto 9. Quando adotada a precisão citada anteriormente, observou-se que, os pontos 4 (com L_3 e L_1+L_2), 6 (com L_1+L_2), 8 (com 15 satélites), somente conseguiram alcançar esta precisão com a inserção dos parâmetros da BCAL/UFPR. Para os pontos 5 (com L_3) e 9 a precisão do método foi alcançada com os valores do NGS relativo e NGS absoluto, respectivamente. Assim, para 83,33% dos processamentos, com linhas de base médias e longas, a precisão imposta só foi alcançada com a inserção de parâmetros individuais de antenas GPS.

Conforme os resultados apresentados foi possível observar que, em levantamentos que exigem alta precisão e acurácia, e.g. monitoramento de estruturas civis, onde a diferença de menos de 1 mm pode representar o início de um colapso na estrutura, os parâmetros de calibração de antenas GPS são fundamentais. Diante das diferenças encontradas afirma-se que, sem os parâmetros da BCAL/UFPR, portanto fiéis às antenas utilizadas, o monitoramento seria falho, pois para alguns pontos somente com a inserção destes parâmetros atingiu-se a precisão indicada para o método utilizado.

As recomendações deste trabalho para futuras pesquisas são:

- a) Determinar as coordenadas geodésicas precisas do Pilar 2000 (Norte) da BCAL/UFPR através do PPP;
- b) Utilizar a conexão via *bluetooth* na antena LEIATX 1230, visto que foi utilizada a conexão via cabo;
- c) Realizar o intercâmbio das antenas entre os receptores, para verificar se os resultados serão mantidos;
- d) Determinar as coordenadas geodésicas dos pontos com o auxílio da nova versão do AEM-LAGEH;
- e) Utilizar sob o AEM-LAGEH o novo suporte do material atenuador (DRA);
- f) Realizar a correção dos efeitos da ionosfera de 2° e 3° ordem, podendo utilizar o *software* RINEX_HO; e
- g) Continuar com os experimentos, visando a obtenção de mais dados que possibilitem uma análise estatística completa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBARICI, F. L. **Posicionamento Relativo: Análise dos Resultados Combinando as Observáveis L1 dos Satélites GPS e SBAS**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

AKROUR, B.; SANTERRE, R.; GEIGER, A. Calibrating Antenna Phase Centers. **GPS World**, Santa Ana, Canadá, p. 49-53, 01 fevereiro 2005. Disponível em: <<http://www.gpsworld.com/gps/calibrating-antenna-phase-centers-943>>. Acesso em: 15/10/2011.

BARBIERI, M. J.; FARRET, J. C.; MORAES, C. V.; CARNEIRO, M. Ruído, Multicaminho e Ângulo de Elevação: Qual a Melhor Máscara para Trabalhos com GPS? **Revista Geomática**, Santa Maria, v.1, n.1 – 2006.

BILICH, A.; MADER, G. L. **GNSS Absolute Antenna Calibration at the National Geodetic Survey**. In: ION GNSS 2010, 23., 2010, Portland, Estados Unidos. Proceedings of the 23rd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation. p. 1369-1377. Disponível em: <<ftp://www.ngs.noaa.gov/dist/abilich/>>. Acesso em: 12/10/2011.

DORTH, M. K. S. **Proposta de Classificação de Linhas de Base Obtidas com Dados GPS, a Luz de Árvore de Decisão**. 338 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FARRET, J. C. **O efeito do Multicaminho Estático nas Medidas da Fase das Portadoras GPS**. 132 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

FREIBERGER JUNIOR. **Antenas de Receptores GPS: Características Gerais**. Material teórico de apoio ao Curso de Extensão Error Sources in Highly Precise GPS Positioning, 2004. Disponível em: <http://www.geomatica.ufpr.br/docentes/ckrueger/pessoal/D_antenas.pdf>. Acesso em: 12/10/2011.

FREIBERGER JUNIOR, J. **Investigações Da Calibração Relativa de Antenas GNSS**. 222 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

GEMAEL, C.; ANDRADE, J. B. **Geodésia Celeste**. Curitiba: Ed. UFPR, 2004.

Google Earth (2012). Disponível em: <<http://www.googleearth.com>>. Acesso em: 29/08/2012.

HUINCA, S. C. M. **Calibração Relativa de Antenas GNSS na BCAL/UFPR**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

HUINCA, S. C. M.; KRUEGER, C. P. Determinação de Parâmetros de Calibração Relativos em Nível Absoluto de Antenas de Receptores GPS. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63 ed. especial – Geodésia e Topografia, 2011.

KERSTEN, T.; SHÖN, S. **Towards Modelling Phase Center Variations for Multi-Frequency and Multi-GNSS**. In: Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing (NAVITEC). Proceedings of the 5th ESA Workshop, 2010, p. 1-8.

KRUEGER, C. P. (1996). **Investigações Sobre Aplicações de Alta Precisão do GPS no Âmbito Marinho**. 267 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

KRUEGER, C. P. **Apostila Geodésia Celeste**. Curitiba, 2007. No prelo.

International GNSS Service. IGS Products. Disponível em: <<http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>>. Acesso em: 11/10/2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Instruções para Homologação de Estações Estabelecidas por Outras Instituições**. 2007, p. 10. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/homologacao_de_marcos.pdf >. Acesso em: 28/09/2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS**. 2008, p. 35. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/Recom_GPS_internet.pdf >. Acesso em: 15/10/2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Resolução PR nº5 – Especificações e Normas Gerais para Levantamentos GPS**. 1993, p. 18.

Disponível em: < [ftp://geoftp. ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/normas_gps.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/normas_gps.pdf) >. Acesso em: 20/09/2011.

LEANDRO, D. **Investigação do Posicionamento GPS em Ambientes Internos com o Auxílio do Efeito de Multicaminho**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

Leica Geosystems (2011a). Disponível em: <<http://www.leica-geosystems.com/en>>. Acesso em: 02/09/2011.

Leica Geosystems (2011b). Disponível em <<http://www.leica-geosystems.com>>. Acesso em: 28/03/2011.

Leica Geo Office. **Manual de utilização do programa Leica Geo Office 7.0**. Leica Geosystems AG. Heerbrugg, Switzerland, 2008.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

MACHADO, W. C. **Solução Rápida das ambiguidades GPS para Aplicações no Posicionamento Relativo de Bases Curtas**. 142 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Departamento de Cartografia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2002.

MADER, G. GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey. **GPS Solutions**, v. 3, n. 1, p. 50-58, 1999.

MARINI, M. C., MONICO, J. F. G. Aspectos da Otimização e Processamento de Redes GPS. **Pesquisas em Geociências. Instituto de Geociências**, Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 51-60, 2003.

MARQUES, H. A.; MONICO, J. F. G.; AQUINO M. RINEX_HO: Second- and Third-Order Ionospheric Corrections for RINEX Observation Files. **GPS Solutions**, v. 15, n. 3, p. 305-314, 2011.

MATSUOKA, M. T., CAMARGO, P. O. **Ciclo de Manchas Solares e o Posicionamento por Ponto com GPS**. In: Souza, S.F, Matsuoka, M.T (Org.). Série em Geomática: II Seminário Anual de Pesquisas Geodésicas na UFRGS. 1 ed. Porto Alegre/RS: Instituto de Geociências-UFRGS, v.1, p. 1-8, 2007.

MENDES, V. B. Modeling the Neutral-Atmosphere Propagation Delay in Radiometric Space Techniques. 353 f. (Dissertação de Mestrado) – Departamento de Geodésia e Geomática, Universidade de New Brunswick, Fredericton, Canada, 1999.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 2 ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

National Geodetic Survey (NGS). Disponível em: <<http://www.ngs.noaa.gov/>>. Acesso em: 15/09/2011.

OLIVEIRA, A. B. V. **Uso do GPS para o Estudo da Anomalia Equatorial**. 167f. Dissertação (Mestrado em Telecomunicações) – Centro Técnico Aeroespacial, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2003.

POLEZEL, W. G. C.; SOUZA, E. M.; MONICO, J. F. G. **Metodologia de Redução do Multicaminho em Estações de Referência GPS**. COBRAC – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, 2006.

RAY, J. K.; CANNON, M. E. **Mitigation of Static Carrier Phase Multipath Effects Using Multiple Closely-Spaced Antennas**. In: ION GPS-98, Nashville, 1998.

RODRIGUES, V. A. **Implantação da Rede Geodésica UNESP para Integração ao Sistema Geodésico Brasileiro**. 138 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrônomicas) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2006.

ROTHACHER, M. Comparisons of Absolute and Relative Antenna Phase Center Variations. **GPS Solutions**. v. 4, n. 4, 2000.

SALOMONI, C. S. **GPS e Ionosfera: Estudo do comportamento do TEC e de sua Influência no Posicionamento com GPS na Região Brasileira em Períodos de Alta e Baixa Atividade Solar**. 166 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung (SAPOS). Disponível em: < http://www.sapos.de/pdf/Flyer/2005Flyer_por.pdf>. Acesso em: 15/10/2011.

SEEBER, G. **Real-Time Satellite Positioning on the Centimeter Level in the 21st Century using Permanent Reference Stations**. In: Nordie Geodetic Summerschool, Fevik, Noruega.

SEEBER, G., **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**. Berlin: Walter de Gruyter, 2003.

SEJAS, M. I. **Modelagem Ionosférica Local em Redes GPS para o Posicionamento Absoluto de Estações de Uma Frequência**. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

Solar Influences Data Analysis Center (SIDC). Disponível em: <http://sidc.oma.be/sunspot-index-graphics/sidc_graphics.php>. Acesso em: 03/10/2011.

SILVA, N. C. C; SANTOS, M. C; OLIVEIRA, L. C. Efeito da Refração Troposférica no Posicionamento Geodésico com GPS. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 17, n. 2-3, p. 118-128, 1999.

SCHMITZ, M., WÜBBENA, G. **Precise Kinematic GPS Processing and Rigorous Modeling of GPS in a Block Adjustment**. In: BINGO Seminar, BAE Systems, Frankfurt, Alemanha, 2004.

SCHUPLER, B. R., CLARK, T. A. How Different Antennas Affect the GPS Observable. **GPS World**, n. 2, p. 32-36, 1991.

SCHUPLER, B. R.; CLARK, T. A. **High Accuracy Characterization of Geodetic GPS Antennas Using Anechoic Chamber and Field Tests**. In: ION GPS 2000, Satl Lake City, UT, Estados Unidos, 2000.

SOUSA, C. R. M. **Interferidores de GPS: Análise do Sistema e de Potenciais Fontes de Interferência**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2005.

SOUZA, E. M.; POLEZEL, W. G. C.; MONICO, J. F. G. Avaliação do Nível de Multicaminho no Posicionamento Relativo GPS e sua Atenuação Através da Análise de Multiresolução. **Boletim Ciências Geodésicas**, Curitiba, v.11, n. 2, p. 221-234, 2005.

SOUZA, E. M. **Efeito de Multicaminho de Alta Frequência no posicionamento Relativo GPS Estático: Detecção e atenuação utilizando Wavelets**. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.

SOUZA, E. M. **Análise de Wavelets para Detecção e Correção do Multicaminho no Posicionamento Relativo GNSS Estático e Cinemático**. 171 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

Space Weather Prediction Center (SWPC). Disponível em: < <http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/index.html>>. Acesso em: 03/10/2011.

TRIMBLE (2008). Receptor Netr5. Disponível em: <<http://www.trimble.com/netr5.shtml>>. Acesso em: 06/10/2011.

University NAVSTAR Consortium (UNAVCO). TEQC – Tutorial. Disponível em: <<http://facility.unavco.org/software/teqc/tutorial.html>>. Acesso em: 03/09/2011.

VISKI A. R.; KRUEGER, C.P.; HUINCA, S.C.M. Investigação de Material Isolante para Dissipação de Efeito de Multicaminho em Antenas GNSS. **Livro de Resumos do 18º Evinci - 3º Eint**. Ciências Exatas e da Terra. Outubro de 2010.

VÖLKSEN, C. **The Importance of Correct Antenna Calibration Models for the EUREF Permanent Network**. In: Report on the Symposium of the IAG subcommission for Europe (EUREF), Vienna, 2005, p. 73-78.

WANNINGER, L.; MAY, M. **Carrier phase multipath calibration of GPS reference stations**. In: ION GPS 2000, Salt Lake City, UT, Estados Unidos. Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, 2000, p. 19-22.

World Meteorological Organization (WMO). **National/Regional Operational Procedures of GPS Water Vapour Networks and Agreed International Procedures**. 2006, p. 20. Disponível em: < http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/IOM-92_GPS-WaterVapour/IOM-92_GPS-Water-Vapour.pdf>. Acesso em: 15/10/2011.

WÜBBENA, G.; MENGE, F.; SCHMITZ, M.; SEEGER, G.; VÖLKSEN, C. **A New Approach for Field Calibration of Absolute Antenna Phase Center Variations.** In: ION GPS-96, Kansas City, Missouri, Estados Unidos, 1205-1214, 1996.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M.; BOETTCHER, G. **Analyse umfangreicher Messreihen von GPS Antennen PCV aus absoluten Roboter-Feldkalibrierungen.** GPS-Antennen-Workshop, Bonn, Alemanha, 2003.

WÜBBENA, G.; SCHMITZ, M.; BOETTCHER, G. **Separation of Near-field and Farfield Multipath: New Strategies for Station Calibration.** In: 10th EUPOS ICS, 2006, Budapest, Hungary.

ANEXO

EXEMPLO DE ARQUIVO DE PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DA ANTENA LEIATX 1202 GG COM PCO E PCV (FORMATO ANTEX)

```

1.3      G
A
Written by Wa1ANT 1.29 (www.wasoft.de) 24.04.2012
Reference Antenna: LEIAR25      NONE
corrected using:   AR25geo_abs.atx
at position (XYZ): 3763726.3683 -4365122.7489 -2724432.4901
(LLH):            -25 26 55.07830 -49 13 52.33163 928.918
Antenna Orientations:
1 azimuth of 0 deg at 0 seconds
2 azimuth of 180 deg at 15 seconds
3 azimuth of 270 deg at 30 seconds
4 azimuth of 90 deg at 45 seconds
Height difference (levelling): 0.0806 m
Approximate distance: 5.9 m
Start time, duration: 02.04.2012 12:23:45, 24.0 h
Ambiguity Fixing Percentage: 100.0 %
Elevation mask for PCO: 10 deg
LEIAX1202GG BCAL
FIELD      UFPR      1      02.04.2012
5.0
0.0 85.0 5.0
2
01
1.36 -0.58 63.39
NOAZI 0.75 0.52 0.10 -0.05 0.15 0.35 0.32 0.20 0.12 0.02 -0.22 -0.44 -0.39 -0.06 0.27 0.34 0.19 0.03
0.0 0.75 0.60 0.17 -0.13 -0.14 0.01 0.14 0.18 0.08 -0.23 -0.65 -0.87 -0.65 -0.14 0.27 0.36 0.22 0.05
5.0 0.75 0.60 0.15 -0.19 -0.18 0.10 0.37 0.34 -0.03 -0.56 -0.95 -0.96 -0.61 -0.14 0.19 0.29 0.21 0.07
10.0 0.75 0.60 0.14 -0.22 -0.17 0.24 0.60 0.49 -0.12 -0.83 -1.18 -1.00 -0.56 -0.14 0.11 0.22 0.21 0.09
15.0 0.75 0.60 0.15 -0.21 -0.11 0.39 0.81 0.62 -0.18 -1.02 -1.31 -1.00 -0.49 -0.13 0.05 0.17 0.21 0.11
20.0 0.75 0.60 0.16 -0.17 -0.02 0.54 0.97 0.71 -0.20 -1.09 -1.34 -0.95 -0.42 -0.12 0.01 0.14 0.22 0.13
25.0 0.75 0.60 0.18 -0.10 0.10 0.67 1.06 0.75 -0.17 -1.05 -1.26 -0.86 -0.36 -0.11 0.00 0.14 0.24 0.15
30.0 0.75 0.60 0.20 -0.01 0.22 0.76 1.07 0.74 -0.11 -0.89 -1.07 -0.73 -0.31 -0.09 0.01 0.17 0.27 0.17
35.0 0.75 0.60 0.23 0.08 0.34 0.80 1.00 0.68 -0.02 -0.63 -0.80 -0.58 -0.27 -0.08 0.06 0.22 0.31 0.19
40.0 0.75 0.60 0.26 0.17 0.44 0.78 0.85 0.56 0.09 -0.32 -0.48 -0.42 -0.25 -0.07 0.12 0.30 0.37 0.21
45.0 0.75 0.59 0.27 0.24 0.51 0.72 0.65 0.41 0.19 0.02 -0.15 -0.27 -0.25 -0.06 0.20 0.40 0.43 0.24
50.0 0.75 0.59 0.28 0.29 0.53 0.61 0.41 0.23 0.28 0.34 0.16 -0.15 -0.27 -0.05 0.29 0.51 0.49 0.25
55.0 0.75 0.58 0.28 0.30 0.52 0.47 0.16 0.05 0.34 0.60 0.41 -0.07 -0.30 -0.05 0.38 0.62 0.55 0.27
60.0 0.75 0.57 0.26 0.28 0.46 0.33 -0.06 -0.12 0.35 0.78 0.58 -0.03 -0.34 -0.05 0.47 0.72 0.61 0.29
65.0 0.75 0.56 0.23 0.23 0.37 0.19 -0.24 -0.26 0.32 0.84 0.64 -0.04 -0.39 -0.05 0.53 0.81 0.65 0.30
70.0 0.75 0.55 0.19 0.14 0.26 0.07 -0.34 -0.35 0.24 0.78 0.58 -0.11 -0.44 -0.06 0.58 0.87 0.69 0.31
75.0 0.75 0.54 0.14 0.03 0.14 0.00 -0.37 -0.39 0.13 0.61 0.42 -0.21 -0.49 -0.06 0.61 0.91 0.71 0.32
80.0 0.75 0.52 0.08 -0.08 0.02 -0.03 -0.31 -0.37 0.00 0.36 0.18 -0.35 -0.53 -0.06 0.62 0.92 0.72 0.32
85.0 0.75 0.51 0.02 -0.20 -0.09 -0.02 -0.18 -0.30 -0.14 0.04 -0.13 -0.51 -0.56 -0.06 0.61 0.90 0.71 0.32
90.0 0.75 0.50 -0.03 -0.30 -0.16 0.05 0.01 -0.17 -0.26 -0.29 -0.45 -0.67 -0.58 -0.05 0.59 0.87 0.69 0.31
95.0 0.75 0.49 -0.07 -0.38 -0.21 0.15 0.24 -0.02 -0.36 -0.60 -0.76 -0.80 -0.58 -0.03 0.55 0.81 0.66 0.30
100.0 0.75 0.48 -0.10 -0.43 -0.21 0.27 0.46 0.14 -0.42 -0.86 -1.01 -0.91 -0.56 -0.02 0.51 0.75 0.62 0.29
105.0 0.75 0.47 -0.11 -0.44 -0.17 0.41 0.67 0.30 -0.44 -1.02 -1.18 -0.97 -0.53 0.01 0.47 0.69 0.58 0.28
110.0 0.75 0.47 -0.11 -0.41 -0.10 0.53 0.82 0.41 -0.42 -1.08 -1.25 -0.97 -0.49 0.03 0.44 0.62 0.53 0.26
115.0 0.75 0.47 -0.09 -0.35 0.00 0.64 0.91 0.48 -0.36 -1.03 -1.20 -0.92 -0.43 0.05 0.41 0.56 0.48 0.24
120.0 0.75 0.47 -0.06 -0.25 0.12 0.70 0.90 0.48 -0.28 -0.88 -1.05 -0.82 -0.38 0.07 0.39 0.51 0.44 0.22
125.0 0.75 0.47 -0.02 -0.14 0.24 0.73 0.82 0.42 -0.18 -0.65 -0.82 -0.68 -0.33 0.08 0.38 0.48 0.40 0.20
130.0 0.75 0.47 0.03 -0.03 0.35 0.70 0.65 0.29 -0.10 -0.37 -0.53 -0.52 -0.28 0.08 0.37 0.45 0.36 0.18
135.0 0.75 0.48 0.08 0.08 0.43 0.62 0.42 0.11 -0.02 -0.07 -0.22 -0.36 -0.25 0.08 0.36 0.43 0.32 0.16
140.0 0.75 0.48 0.12 0.16 0.47 0.50 0.15 -0.09 0.03 0.21 0.07 -0.22 -0.24 0.07 0.36 0.41 0.29 0.14
145.0 0.75 0.48 0.14 0.22 0.47 0.35 -0.12 -0.30 0.06 0.44 0.31 -0.11 -0.24 0.04 0.35 0.40 0.27 0.12
150.0 0.75 0.48 0.16 0.23 0.42 0.17 -0.37 -0.49 0.06 0.59 0.47 -0.05 -0.26 0.01 0.35 0.39 0.25 0.10
155.0 0.75 0.48 0.16 0.20 0.32 0.00 -0.57 -0.62 0.04 0.65 0.52 -0.05 -0.30 -0.02 0.33 0.38 0.23 0.08
160.0 0.75 0.48 0.14 0.14 0.19 -0.16 -0.69 -0.69 0.00 0.61 0.47 -0.11 -0.36 -0.06 0.31 0.36 0.21 0.06
165.0 0.75 0.48 0.12 0.04 0.04 -0.28 -0.73 -0.67 -0.03 0.50 0.33 -0.22 -0.42 -0.09 0.29 0.35 0.19 0.04
170.0 0.75 0.48 0.08 -0.08 -0.12 -0.36 -0.67 -0.58 -0.06 0.32 0.11 -0.36 -0.48 -0.12 0.26 0.33 0.17 0.03
175.0 0.75 0.47 0.03 -0.20 -0.26 -0.38 -0.52 -0.42 -0.08 0.10 -0.15 -0.52 -0.53 -0.15 0.23 0.30 0.15 0.01
180.0 0.75 0.47 -0.01 -0.32 -0.38 -0.34 -0.30 -0.20 -0.08 -0.13 -0.42 -0.67 -0.58 -0.17 0.20 0.28 0.14 0.00
185.0 0.75 0.47 -0.05 -0.41 -0.45 -0.25 -0.03 0.05 -0.06 -0.34 -0.66 -0.80 -0.60 -0.18 0.17 0.26 0.12 -0.02
190.0 0.75 0.46 -0.08 -0.47 -0.46 -0.10 0.26 0.30 -0.02 -0.49 -0.84 -0.88 -0.61 -0.19 0.15 0.24 0.11 -0.03
195.0 0.75 0.46 -0.09 -0.49 -0.41 0.08 0.53 0.52 0.03 -0.58 -0.93 -0.90 -0.59 -0.19 0.13 0.22 0.10 -0.05
200.0 0.75 0.46 -0.09 -0.47 -0.31 0.27 0.76 0.69 0.09 -0.58 -0.91 -0.85 -0.55 -0.18 0.11 0.21 0.09 -0.06

```

205.0	0.75	0.46	-0.08	-0.41	-0.17	0.46	0.93	0.79	0.15	-0.50	-0.80	-0.74	-0.50	-0.18	0.11	0.20	0.08	-0.08
210.0	0.75	0.46	-0.06	-0.31	0.00	0.63	1.01	0.81	0.20	-0.34	-0.59	-0.59	-0.43	-0.17	0.11	0.20	0.07	-0.09
215.0	0.75	0.46	-0.02	-0.19	0.18	0.76	1.01	0.75	0.26	-0.12	-0.31	-0.40	-0.37	-0.16	0.12	0.21	0.06	-0.10
220.0	0.75	0.47	0.01	-0.07	0.34	0.83	0.92	0.62	0.30	0.13	0.00	-0.20	-0.30	-0.15	0.13	0.21	0.04	-0.12
225.0	0.75	0.47	0.05	0.04	0.47	0.83	0.76	0.46	0.33	0.40	0.31	-0.01	-0.25	-0.14	0.14	0.22	0.03	-0.13
230.0	0.75	0.47	0.08	0.12	0.54	0.78	0.56	0.27	0.36	0.64	0.59	0.14	-0.21	-0.13	0.16	0.22	0.01	-0.15
235.0	0.75	0.48	0.11	0.18	0.56	0.67	0.33	0.10	0.38	0.83	0.79	0.24	-0.19	-0.12	0.17	0.21	-0.01	-0.16
240.0	0.75	0.48	0.12	0.19	0.52	0.52	0.12	-0.05	0.40	0.96	0.90	0.28	-0.19	-0.11	0.18	0.19	-0.04	-0.18
245.0	0.75	0.48	0.12	0.17	0.43	0.35	-0.06	-0.14	0.41	1.00	0.90	0.25	-0.20	-0.09	0.18	0.17	-0.07	-0.19
250.0	0.75	0.48	0.11	0.10	0.30	0.19	-0.17	-0.16	0.42	0.95	0.79	0.15	-0.22	-0.08	0.18	0.13	-0.11	-0.20
255.0	0.75	0.49	0.09	0.02	0.14	0.05	-0.20	-0.11	0.42	0.82	0.59	0.02	-0.25	-0.06	0.16	0.08	-0.15	-0.21
260.0	0.75	0.49	0.06	-0.08	-0.01	-0.05	-0.15	0.00	0.42	0.62	0.32	-0.15	-0.27	-0.04	0.14	0.03	-0.18	-0.23
265.0	0.75	0.49	0.04	-0.18	-0.14	-0.08	-0.03	0.16	0.40	0.37	0.01	-0.33	-0.29	-0.01	0.12	-0.02	-0.22	-0.23
270.0	0.75	0.49	0.01	-0.26	-0.23	-0.06	0.16	0.35	0.38	0.11	-0.30	-0.49	-0.30	0.01	0.09	-0.07	-0.25	-0.24
275.0	0.75	0.49	-0.01	-0.32	-0.27	0.04	0.38	0.54	0.35	-0.14	-0.58	-0.63	-0.30	0.03	0.07	-0.12	-0.27	-0.24
280.0	0.75	0.50	-0.01	-0.33	-0.24	0.18	0.62	0.72	0.32	-0.34	-0.79	-0.71	-0.29	0.04	0.05	-0.15	-0.28	-0.24
285.0	0.75	0.50	-0.01	-0.31	-0.16	0.36	0.83	0.85	0.29	-0.48	-0.90	-0.74	-0.27	0.05	0.04	-0.16	-0.28	-0.24
290.0	0.75	0.51	0.01	-0.25	-0.03	0.55	1.01	0.92	0.27	-0.53	-0.92	-0.72	-0.25	0.06	0.04	-0.14	-0.27	-0.23
295.0	0.75	0.52	0.04	-0.16	0.14	0.73	1.11	0.93	0.25	-0.49	-0.84	-0.65	-0.23	0.06	0.06	-0.11	-0.24	-0.22
300.0	0.75	0.52	0.08	-0.05	0.32	0.87	1.14	0.88	0.26	-0.37	-0.66	-0.55	-0.22	0.06	0.10	-0.05	-0.20	-0.20
305.0	0.75	0.53	0.13	0.07	0.48	0.97	1.08	0.77	0.27	-0.16	-0.42	-0.43	-0.22	0.05	0.15	0.03	-0.15	-0.19
310.0	0.75	0.54	0.17	0.19	0.62	0.99	0.95	0.61	0.31	0.09	-0.14	-0.31	-0.24	0.03	0.21	0.12	-0.09	-0.17
315.0	0.75	0.55	0.22	0.29	0.72	0.96	0.75	0.43	0.35	0.36	0.13	-0.21	-0.28	0.01	0.28	0.22	-0.03	-0.15
320.0	0.75	0.56	0.25	0.35	0.75	0.86	0.52	0.25	0.40	0.61	0.37	-0.15	-0.33	-0.01	0.35	0.32	0.03	-0.12
325.0	0.75	0.57	0.27	0.38	0.73	0.71	0.28	0.08	0.44	0.81	0.55	-0.12	-0.40	-0.03	0.41	0.40	0.09	-0.10
330.0	0.75	0.58	0.28	0.37	0.65	0.53	0.06	-0.05	0.47	0.94	0.63	-0.15	-0.47	-0.06	0.46	0.47	0.14	-0.08
335.0	0.75	0.58	0.28	0.33	0.53	0.35	-0.11	-0.14	0.47	0.97	0.61	-0.22	-0.54	-0.08	0.48	0.52	0.18	-0.05
340.0	0.75	0.59	0.27	0.25	0.38	0.18	-0.22	-0.18	0.45	0.89	0.49	-0.32	-0.60	-0.10	0.48	0.54	0.20	-0.03
345.0	0.75	0.59	0.25	0.16	0.22	0.05	-0.24	-0.15	0.39	0.71	0.28	-0.46	-0.64	-0.12	0.46	0.52	0.22	-0.01
350.0	0.75	0.59	0.22	0.05	0.07	-0.02	-0.18	-0.08	0.30	0.44	-0.01	-0.61	-0.67	-0.13	0.41	0.49	0.23	0.01
355.0	0.75	0.59	0.20	-0.05	-0.06	-0.04	-0.05	0.04	0.20	0.11	-0.33	-0.75	-0.67	-0.14	0.35	0.43	0.23	0.03
360.0	0.75	0.60	0.17	-0.13	-0.14	0.01	0.14	0.18	0.08	-0.23	-0.65	-0.87	-0.65	-0.14	0.27	0.36	0.22	0.05
01	END OF FREQUENCY																	
02	START OF FREQUENCY																	
-0.51	0.31	64.17	NORTH / EAST / UP															
NOAZI	-0.50	-0.35	-0.06	0.11	0.09	0.06	0.09	0.07	-0.11	-0.36	-0.42	-0.18	0.20	0.44	0.33	-0.19	-0.96	-1.66
0.0	-0.50	-0.61	-0.50	-0.46	-0.40	-0.11	0.23	0.12	-0.46	-0.86	-0.54	0.21	0.71	0.69	0.38	-0.06	-0.69	-1.44
5.0	-0.50	-0.62	-0.55	-0.48	-0.36	-0.03	0.27	0.10	-0.52	-0.98	-0.75	-0.03	0.55	0.65	0.33	-0.21	-0.87	-1.53
10.0	-0.50	-0.64	-0.58	-0.46	-0.25	0.06	0.27	0.05	-0.56	-1.04	-0.94	-0.32	0.33	0.55	0.28	-0.34	-1.06	-1.63
15.0	-0.50	-0.64	-0.59	-0.38	-0.10	0.17	0.23	-0.04	-0.57	-1.03	-1.07	-0.62	0.04	0.41	0.21	-0.47	-1.23	-1.73
20.0	-0.50	-0.64	-0.57	-0.26	0.09	0.26	0.16	-0.15	-0.55	-0.95	-1.15	-0.91	-0.29	0.23	0.12	-0.61	-1.40	-1.82
25.0	-0.50	-0.64	-0.54	-0.13	0.29	0.34	0.04	-0.29	-0.52	-0.81	-1.16	-1.17	-0.62	0.02	0.00	-0.74	-1.56	-1.90
30.0	-0.50	-0.63	-0.50	0.00	0.47	0.39	-0.09	-0.43	-0.46	-0.63	-1.11	-1.36	-0.92	-0.21	-0.14	-0.89	-1.71	-1.98
35.0	-0.50	-0.62	-0.46	0.12	0.61	0.41	-0.23	-0.56	-0.40	-0.42	-1.00	-1.48	-1.16	-0.42	-0.30	-1.04	-1.84	-2.05
40.0	-0.50	-0.60	-0.42	0.21	0.69	0.39	-0.36	-0.66	-0.33	-0.22	-0.85	-1.51	-1.32	-0.61	-0.46	-1.19	-1.97	-2.11
45.0	-0.50	-0.58	-0.38	0.25	0.71	0.34	-0.46	-0.71	-0.25	-0.04	-0.68	-1.44	-1.37	-0.73	-0.62	-1.34	-2.07	-2.16
50.0	-0.50	-0.56	-0.35	0.24	0.65	0.27	-0.51	-0.70	-0.17	0.09	-0.50	-1.28	-1.30	-0.79	-0.75	-1.47	-2.16	-2.20
55.0	-0.50	-0.53	-0.33	0.19	0.53	0.18	-0.49	-0.61	-0.10	0.18	-0.34	-1.05	-1.12	-0.76	-0.84	-1.57	-2.21	-2.23
60.0	-0.50	-0.49	-0.32	0.10	0.36	0.09	-0.40	-0.45	-0.02	0.20	-0.22	-0.77	-0.84	-0.64	-0.88	-1.64	-2.24	-2.25
65.0	-0.50	-0.46	-0.30	-0.02	0.16	0.01	-0.25	-0.22	0.06	0.16	-0.13	-0.45	-0.47	-0.45	-0.86	-1.66	-2.24	-2.25
70.0	-0.50	-0.42	-0.29	-0.14	-0.04	-0.04	-0.04	0.05	0.14	0.08	-0.08	-0.13	-0.06	-0.19	-0.78	-1.63	-2.20	-2.25
75.0	-0.50	-0.38	-0.26	-0.25	-0.23	-0.06	0.21	0.36	0.22	-0.02	-0.07	0.16	0.36	0.11	-0.64	-1.54	-2.13	-2.23
80.0	-0.50	-0.33	-0.23	-0.32	-0.37	-0.05	0.48	0.66	0.29	-0.14	-0.08	0.42	0.74	0.41	-0.46	-1.40	-2.02	-2.20
85.0	-0.50	-0.29	-0.17	-0.36	-0.45	0.00	0.73	0.93	0.36	-0.25	-0.12	0.60	1.05	0.69	-0.24	-1.21	-1.89	-2.16
90.0	-0.50	-0.24	-0.10	-0.34	-0.47	0.07	0.94	1.14	0.41	-0.33	-0.15	0.72	1.27	0.92	-0.01	-0.98	-1.72	-2.11
95.0	-0.50	-0.19	-0.01	-0.26	-0.41	0.17	1.09	1.27	0.45	-0.36	-0.18	0.76	1.36	1.07	0.21	-0.73	-1.54	-2.06
100.0	-0.50	-0.14	0.10	-0.12	-0.29	0.27	1.16	1.31	0.47	-0.35	-0.18	0.72	1.33	1.13	0.41	-0.46	-1.36	-2.01
105.0	-0.50	-0.10	0.22	0.05	-0.11	0.37	1.15	1.26	0.48	-0.28	-0.14	0.63	1.18	1.09	0.57	-0.20	-1.16	-1.96
110.0	-0.50	-0.05	0.34	0.26	0.10	0.45	1.06	1.13	0.47	-0.16	-0.08	0.50	0.94	0.97	0.68	0.04	-0.98	-1.90
115.0	-0.50	-0.01	0.46	0.47	0.32	0.52	0.92	0.93	0.45	0.00	0.02	0.36	0.65	0.79	0.75	0.25	-0.82	-1.85
120.0	-0.50	0.02	0.57	0.68	0.53	0.56	0.74	0.72	0.43	0.18	0.15	0.22	0.33	0.57	0.77	0.42	-0.67	-1.81
125.0	-0.50	0.04	0.66	0.85	0.70	0.57	0.54	0.50	0.41	0.36	0.29	0.11	0.04	0.35	0.76	0.54	-0.56	-1.77
130.0	-0.50	0.06	0.72	0.97	0.81	0.55	0.37											

